

职业教育机电类专业课程改革创新规划教材

# 机电控制技术

丛书主编 李乃夫  
主 编 梁志彪

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

## 内 容 简 介

本书是职业教育机电类专业课程改革创新规划系列教材之一。主要包括：机电控制技术的概述、电动机及其控制技术、检测与传感技术、微型计算机工业控制系统、数控技术、工业机器人（手）与自动生产线。

本书作为职业（技工）院校机电专业的系列教材，努力体现当前职业教育教学改革的理念，并适应当前职业教育教学改革的方向与要求。教材内容不仅追求学科体系的系统性和完整性，而且还强调在生产及实际中的应用性与实践性。

本书为职业（技工）院校机电专业的系列教材，也可供其他工科相关专业（如机电一体化、电气自动化、数控加工、工业机器人应用等）使用或作为工程技术人员的自学参考用书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有，侵权必究。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

机电控制技术 / 梁志彪主编. —北京：电子工业出版社，2016.10

职业教育机电类专业课程改革创新规划教材

ISBN 978-7-121-28725-1

I. ①机… II. ①梁… III. ①机电一体化—控制系统—职业教育—教材 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 204121 号

策划编辑：张 凌

责任编辑：李 蕊

印 刷：

装 订：

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编：100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：17.5 字数：448 千字

版 次：2016 年 10 月第 1 版

印 次：2016 年 10 月第 1 次印刷

定 价：35.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010)88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 [zltts@phei.com.cn](mailto:zltts@phei.com.cn)，盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

本书咨询联系方式：(010)88254583，[zling@phei.com.cn](mailto:zling@phei.com.cn)。



# 前 言

本书是职业教育机电类专业课程改革创新规划教材之一。本书内容结合实际、简洁精练、图文并茂，每个工作项目都配有训练项目及其要求、思考，便于教师组织教学和学生自学。本书参照劳动部颁发的相关行业工种的中、高级技术等级考核标准及职业技能鉴定规范，并结合中等专业学校、职业院校的特点编写，可以作为中等专业学校、职业院校机电一体化、机电技术应用、电气自动化、机电控制技术等专业的教材，也可作为机电行业技术人员岗位培训教材及自学用书。全书的主要内容包括：机电控制技术的概述、电动机及其控制技术、检测与传感技术、微型计算机工业控制系统、数控技术、工业机器人（手）与自动生产线。

编者在本书编写中的指导思想和力图体现的特色如下。

（1）按照当前职业教育教学改革和教材建设的总体目标，努力体现出“以全面素质为基础、以能力为本位、以就业为导向”的职业教育教材的特色。力求使教材的基本内容与岗位的关键职业能力培养要求相对应，实现“与岗位、与生源相衔接”。

（2）本书在编写时参照了相关行业的职业技能鉴定规范及其中、高级技术等级考核标准。同时，考虑到机电控制技术的迅猛发展，特别是机器人和自动生产线在各个行业越来越广泛的使用，增强了教材内容的应用性和实用性。做到与职业技能鉴定标准相结合，又兼顾满足考核的标准要求。

（3）在内容的选取上，适应各行业技术的发展，努力体现教学内容的先进性、前瞻性和普遍性，突出专业领域的“四新”（新知识、新技术、新工艺、新设备或元器件）。

（4）在内容的组合上，体现出不同层次（中、高级）的教学要求，有利于组织分层教学。为适应理实一体化教学模式和行动导向教学原则下的各种教学方法，各教学环节操作步骤要点突出、衔接紧凑、设计合理，使之在教学上有较强的操作性。

本书的总教学学时数建议为 80~100 学时，推荐的两种教学方案见下表。

序 号	内 容	学时分配建议方案	
		方 案 一	方 案 二
第 1 章	机电控制技术的概述	8	10
第 2 章	电动机及其控制技术	16	20
第 3 章	检测与传感技术	12	16
第 4 章	微型计算机工业控制系统	12	16
第 5 章	数控技术	18	22
第 6 章	工业机器人（手）与自动生产线	12	14
	机动	2	2
	总学时	80	100

本书由梁志彪主编。限于编者的知识与水平，书中的错漏之处在所难免，恳请读者及同行给予指正！

为了方便教师教学，本书还配有电子教案和习题答案，请有此需要的教师登录华信教育资源网（[www.hxedu.com.cn](http://www.hxedu.com.cn)）免费注册后进行下载，有问题时请在网站留言或与电子工业出版社联系（E-mail: [hxedu@phei.com.cn](mailto:hxedu@phei.com.cn)）。

编 者

# 目 录

第 1 章 机电控制技术的概述 .....	1
1.1 机电控制技术的基本概念 .....	1
1.1.1 机电控制技术的概念 .....	1
1.1.2 机电控制技术的特点 .....	2
1.2 机电控制技术及其系统 .....	3
1.2.1 机电控制技术的体系 .....	3
1.2.2 机电控制系统的基本结构 .....	4
1.3 机电控制技术的发展趋势 .....	6
1.3.1 机电控制技术的发展过程 .....	6
1.3.2 机电控制技术的发展趋势（方向） .....	7
1.4 自动控制系统的基本知识 .....	8
1.4.1 自动控制的概念 .....	8
1.4.2 自动控制系统的分类 .....	10
1.4.3 自动控制系统的组成 .....	11
训练项目 1：参观机械手或自动生产流水线 .....	12
本章小结 .....	13
习题 1 .....	14
第 2 章 电动机及其控制技术 .....	18
2.1 继电器-接触器控制的基本知识 .....	18
2.1.1 接触器 .....	19
2.1.2 继电器 .....	21
2.1.3 主令电器 .....	28
2.2 交流电动机的控制 .....	31
2.2.1 三相交流电动机的控制 .....	31
训练项目 2：三相交流异步电动机的自动往返控制 .....	36
训练项目 3：交流异步电动机的变频调速控制 .....	40
2.2.2 单相交流电动机的控制 .....	41
2.3 直流电动机的控制 .....	44
2.3.1 直流电动机 .....	44
2.3.2 基本原理 .....	45
2.3.3 基本控制 .....	45
2.3.4 调速 .....	46

2.4	特种电动机的控制	47
2.4.1	伺服电动机	47
2.4.2	步进电动机	50
2.4.3	测速发电机	52
2.4.4	自整角机与旋转变压器	54
	训练项目 4: 步进电动机和伺服电动机的控制	55
2.5	典型的电气设备控制	56
2.5.1	C1650 普通车床	56
2.5.2	M7130 平面磨床	58
2.5.3	组合机床——通用部件(机械滑台)	61
	本章小结	62
	习题 2	63
<b>第 3 章</b>	<b>检测与传感技术</b>	<b>68</b>
3.1	检测与传感技术的基本知识	68
3.1.1	检测技术及检测系统	68
3.1.2	传感器及其技术	69
3.2	敏感元件与传感器	70
3.2.1	位置传感器	71
	训练项目 5: 电感式、电容式接近开关的识别与检查	76
	训练项目 6: 对射式、漫反射式光电开关的识别与检查	78
3.2.2	位移传感器	79
3.2.3	速度传感器	82
3.2.4	温度传感器与压力传感器	83
3.2.5	其他传感器	85
3.3	应用实例	86
3.3.1	注塑机	86
3.3.2	供水系统	87
3.3.3	小汽车	87
	本章小结	88
	习题 3	89
<b>第 4 章</b>	<b>微型计算机工业控制系统</b>	<b>92</b>
4.1	微机工业控制系统	92
4.1.1	微机工业控制系统的概念	92
4.1.2	工控机的构成及分类	93
4.1.3	典型的工控机系统及其构成	96
4.2	单片机控制系统	105
4.2.1	单片机的组成与特点	105
4.2.2	典型的单片机(微处理器)	107
4.2.3	单片机控制系统及其应用	118

4.3 可编程控制器控制系统	135
4.3.1 可编程控制器简介	135
4.3.2 三菱可编程控制器	143
4.3.3 松下可编程控制器	144
4.3.4 日立可编程控制器	145
训练项目 7: 可编程控制器 (PLC) 的基本操作	147
本章小结	149
习题 4	150
<b>第 5 章 数控技术</b>	<b>156</b>
5.1 数控系统概述	156
5.1.1 数控技术的发展简介	157
5.1.2 数控技术的应用	157
5.1.3 数控系统的分类	158
5.1.4 数控系统 (技术) 的特点	160
5.1.5 数控系统的组成	161
5.1.6 数控系统 (技术) 的发展趋势	162
5.2 液压控制技术	164
5.2.1 液压控制技术及其特点	164
5.2.2 液压 (传动) 系统的组成及工作原理	166
5.2.3 液压元件	168
训练项目 8: 齿轮泵的拆卸与装配	181
5.3 气动控制技术	182
5.3.1 气动控制技术概述	182
5.3.2 气动控制 (传动) 系统的组成及工作原理	184
5.3.3 主要气动元件	185
5.4 应用实例	199
5.4.1 数控技术在液压系统 (设备) 的应用	200
5.4.2 气动技术在数控机床中的应用	206
训练项目 9: 参观数控设备或数控机床	210
本章小结	211
习题 5	212
<b>第 6 章 工业机器人 (手) 与自动生产线</b>	<b>218</b>
6.1 工业机器人 (手)	218
6.1.1 概述	219
6.1.2 工业机器人分类	222
6.1.3 工业机器人的组成	228
6.1.4 工业机器人的技术参数	231
训练项目 10: 工业机器人训练	237
6.2 自动生产线	239

6.2.1 自动生产线概述·····	239
6.2.2 自动生产线的应用·····	240
6.2.3 自动生产线的构成·····	247
6.2.4 MPS 系统·····	251
训练项目 11: MPS 系统实训——上料单元的机械拆装·····	262
训练项目 12: MPS 系统实训——搬运(机械手)单元的编程·····	263
训练项目 13: MPS 系统实训——加工单元气动系统调试·····	264
本章小结·····	265
习题 6·····	267
参考文献·····	272

# 第1章 机电控制技术的概述



## 学习目标

本章主要讲述的是机电控制技术的基本知识，也是机电控制技术的基础学习部分。通过本章的学习，应能掌握、理解机电控制技术中的有关概念及其系统的基本构成，了解机电控制技术的发展历史阶段和发展趋势。明确自动控制系统的组成和开环、闭环控制系统的含义，知道自动控制系统的分类及其应用，并通过训练了解机电控制技术在实际工作中或生活中的意义及应用。

## 主要内容

- 机电控制技术的基本概念。
- 机电控制技术的体系。
- 机电控制系统。
- 机电控制技术的发展过程（阶段）。
- 机电控制技术的发展趋势。
- 自动控制系统的组成和分类。
- 开环控制、闭环控制系统。



## 1.1 机电控制技术的基本概念

### 1.1.1 机电控制技术的概念

在经济和科学技术发展迅猛的今天，传统技术不断脱胎换骨，新技术不断问世。各种技术是相互渗透、取长补短的，其融合程度比任何一次技术革命都要高。机电控制技术的产生很自然地符合了科学技术发展的规律，也是科学技术发展的必然结果。

机电控制技术原义是一门集机械、电气及控制技术为一体的综合技术。由于大规模集成电路和微型计算机的微电子技术高速发展，并向传统机械工业领域迅速渗透，因此，机电控制技术是在机械技术和电气技术的基础上融合了微电子技术、自动控制技术、信息处理技术、检测传感技术、电力电子技术等的一种综合技术。

机电控制技术是在系统总体技术统筹下，根据系统功能目标和优化组织结构目标，合理配置系统的各个部分，并在有目的的信息流向引导下，相互协调、有机融合和集

成，形成能量或物质的有序的规则运动，实现特定功能的系统工程技术，通常又称为机电一体化技术。而机电一体化技术的结果是生产出机电一体化产品，即综合应用多种技术而形成的产品。

机电控制技术在现代工业的基础上，综合运用了机械技术、微电子技术、自动控制技术、信息处理技术、检测传感技术、电力电子技术、接口及软件编程技术（支持技术）等群体技术，完成系统信息的处理、接口的耦合、动力的传递、物质的位移、能量的转换等功能。

### 【例 1-1】全自动供水系统

全自动供水系统如图 1-1 所示。

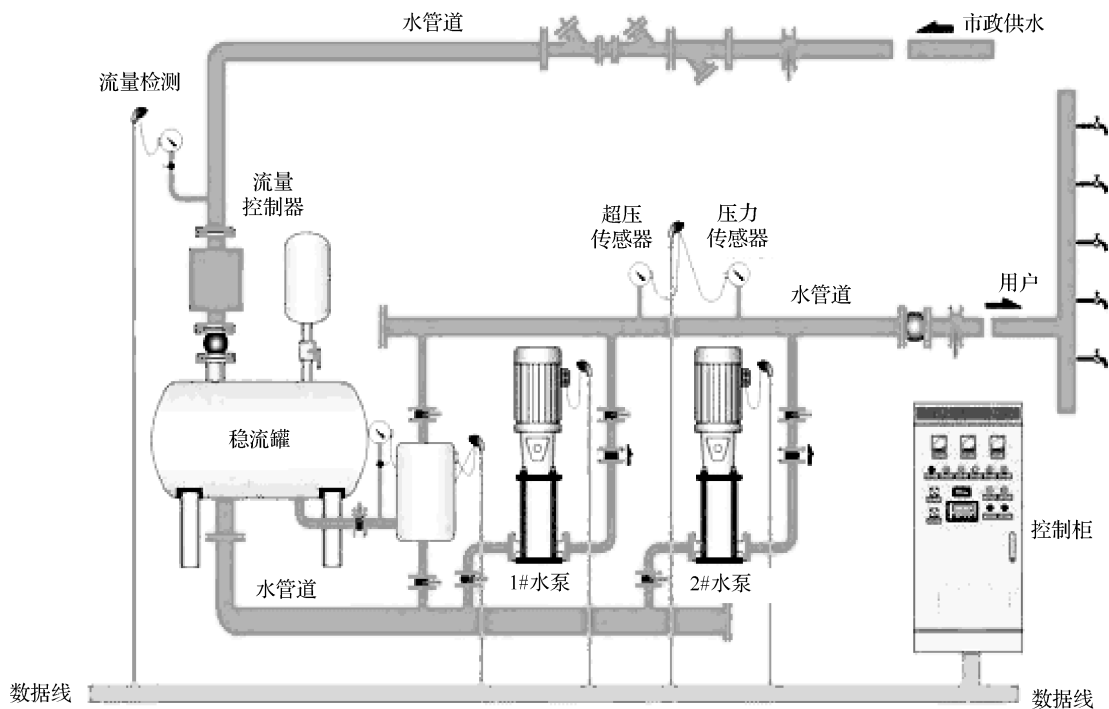


图 1-1 全自动供水系统

全自动供水系统融合、应用了机械技术（水泵）、微电子技术与自动控制技术（控制柜中的可编程控制器）、电力电子技术（变频器）、检测传感技术（各种传感器）、信息处理技术（通过数据线完成检测与控制等信息的传递及处理）等多种技术，由此形成的机电一体化产品——全自动供水设备如图 1-2 所示。

### 1.1.2 机电控制技术的特点

#### 1. 机电有机结合

在概念上，以电动机为主导，以控制为线

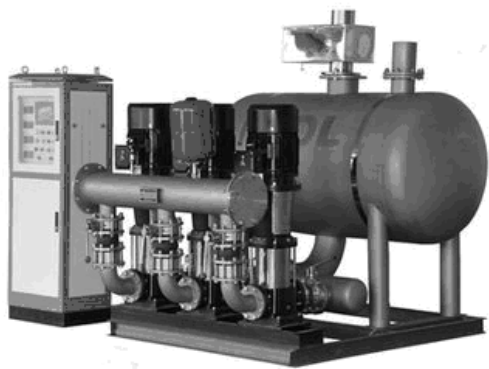


图 1-2 全自动供水设备



索，将机、电有机结合起来。而不是机械技术与微电子技术及其他新技术的简单组合、拼凑。这也是机电控制技术与机械加电气所形成的机械电气化在概念上的根本区别。

在功能上，机械技术由纯技术发展到机械电气化，仍属传统机械技术，其主要功能依然是代替和放大的体力。但是发展了机电控制技术后，其主要功能更体现在高（多）功能、高质量、高可靠性、低能耗等方向。

## 2. 监测与控制并重

机电控制技术的应用不仅仅是“人的手与肢体”的延伸，还具有“人的感官与头脑”的感知和智力。例如，自动检测、自动处理信息、自动显示记录、自动调节与控制、自动诊断与保护等。

## 3. 操作性能的柔性

应用其他技术（如信息处理技术）能使机电控制技术及其系统的各部分机构按预先给定的程序运行、工作。在需要改变系统的整个或部分运动规律时，无须改变系统的结构硬件（机械机构和电气电路），只要调整由一系列指令组成的软件，就可以达到预期的目的。

## 4. 使用者与机器融合交互

在任何时刻、任何环境下，可根据内、外界各种参数（数据）的变化情况，通过界面随时人为或自寻最佳的运行、工作程序，操作者无须直接在现场操作。例如，机械手能在高温、高压、多粉尘、易燃、易爆、放射性等恶劣环境中，以及笨重、单调、频繁的操作中代替人进行作业，可以实现远程监控。



# 1.2 机电控制技术及其系统

## 1.2.1 机电控制技术的体系

机电控制技术是由多种技术相互交叉、相互渗透、有机结合而形成的一种综合性技术，也是一个技术群（族）的总称。其所涉及的技术领域非常广泛，包括自动控制技术、信息处理技术、检测传感技术、伺服驱动技术、精密机械技术等（如图 1-3 所示）。

### 1. 自动控制技术

自动控制技术是指使系统按照一定的程序有目的、准确无误地运行。自动控制技术包括进行开环控制、闭环控制、高精度位置（定位）控制、速度控制、自适应控制、校正补偿等。通过自动控制，使系统的运行效率和精度迅速提高，而且在工作过程中能及时发现故障并自动实施切换，减少了停机时间，使设备的有效利用率迅速提高。

实现自动控制的设备有可编程控制器（PLC）、变频器等。

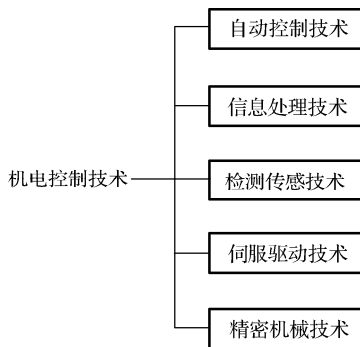


图 1-3 机电控制技术的组成

### 2. 信息处理技术

信息处理技术是指系统在运行中,与运行的各种参数、状态及自动控制有关的信息的传递、交换、存取、运算、判断、分析和结果处理等。

实现信息处理技术的主要设备是计算机。

计算机及其技术包括硬件和软件技术、网络与通信技术、数据处理技术和数据库技术等。计算机实现对信息的处理,控制整个系统的正常运行,硬件、软件、网络与通信及数据等是关键。

### 3. 检测传感技术

检测传感技术是将各种被测量(如物理量、化学量、生物量等)转换为相应的电量。

实现检测传感技术的部件是各种传感器、仪表仪器等。

在系统运行中的各种参数(数据)、工作状态,以及与系统有关的相应信息都是通过传感器及相应的信号检测装置进行监测、检测(测量)的,并可通过反馈来实现系统运行的自动控制。

### 4. 伺服驱动技术

伺服驱动技术使用的主要是系统中完成操作的执行元件。

执行元件:电动式(交、直流电动机,步进电动机,交、直流伺服电动机等)、液压式(液压缸、液压电动机等)、气动式(气压缸等)。

在系统运行中,执行元件一方面接收控制系统(如计算机等)的指令,另一方面与机械的传动及机构相连,以实现规定的动作。即执行元件在控制系统的控制下推动机械部分完成直线、旋转及各种复杂的运动。因此,伺服驱动技术将对系统、结果(产品)的质量、动态性能、稳定性能、操作精度和控制质量等具有直接的、决定性的影响。

### 5. 精密机械技术

由于许多产品(包括日常民用、工业用、国防用等领域)的主要功能和构造功能大都通过机械技术得以实现。因此,对传统的机械技术提出了更高的要求,如传动及机构的精密性和精确度的要求。精密机械技术在“四新”(即新材料、新工艺、新结构、新原理)方面不断发展和完善,得以满足产品对体积缩小、重量减轻、精度及刚度提高、可靠性提高及改善工作性能等方面的要求。

## 1.2.2 机电控制系统的基本结构

机电控制系统主要由比较环节、驱动部分、执行部分、被控对象、检测部分和各部分工作所需的电源组成(如图 1-4 所示)。

如图 1-4 所示的系统特征是存在反馈环节(检测部分),因此该系统是闭环控制系统。

### 1. 比较环节

在系统工作时,先设定输入量(参数或数据),通过与被控对象运行(工作)后的反馈量比较,输出偏差量。若偏差量为零,则说明被控对象的工作正确。

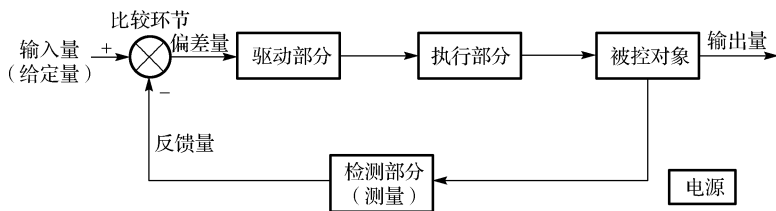


图 1-4 机电控制系统的基本结构方框图

## 2. 驱动部分

对偏差信号（偏差量）进行分析、判断、输出结果（控制信号）。

驱动部分通常是指信息处理和自动控制的设备。

## 3. 执行部分

执行部分根据驱动部分送来的控制信息和指令驱动各种执行元件（如交、直流电动机或控制电动机或电磁阀）完成所规定的各种动作和功能。

执行部分的设备主要有电动式、液压式和气动式三种类型。电动式是指交、直流电动机或控制电动机（如步进电动机或交、直流伺服电动机等），液压式是指液压缸或液压电动机等，气动式是指气压缸等。

## 4. 被控对象

被控对象通常是指工件或机械（精密机械）设备。

机械（精密机械）设备内各种机械零部件按照一定的空间和时间关系放置在一定位置上，在执行部分的作用下，完成直线、旋转及各种复杂的运动。

## 5. 检测部分

对系统在运行过程中的内、外参数（数据）及状态进行监视、检测，转换成相应的信息或信号（反馈量），并传输到比较环节。

检测部分的设备是指各种传感器及相应的信号检测装置。

## 6. 电源

系统的各部分要正常运行（工作），就需要供给所需的电能。

### 【例 1-2】材料（金属、塑料）分拣装置

材料（金属、塑料）分拣装置如图 1-5 所示。

分拣装置工作过程：材料从放料孔进入，落料传感器检测材料的进入，通过信息处理（计算机）控制异步电动机工作，驱动传送带输送材料到达电感式传感器处。电感式传感器对材料进行比较、分析，判断该材料是否为金属。若材料为金属，则控制信号使推料气缸动作，将金属材料推入金属料槽；若材料为非金属（塑料），则控制信号使异步电动机继续工作，驱动传送带将材料输送到电容式传感器处，电容式传感器通过比较得到非金属材料（塑料）到达，即输出控制信号使推料气缸动作，将非金属材料（塑料）推入塑料料槽。完成第一个分拣工作（如图 1-6 所示）。如此可不断循环工作。

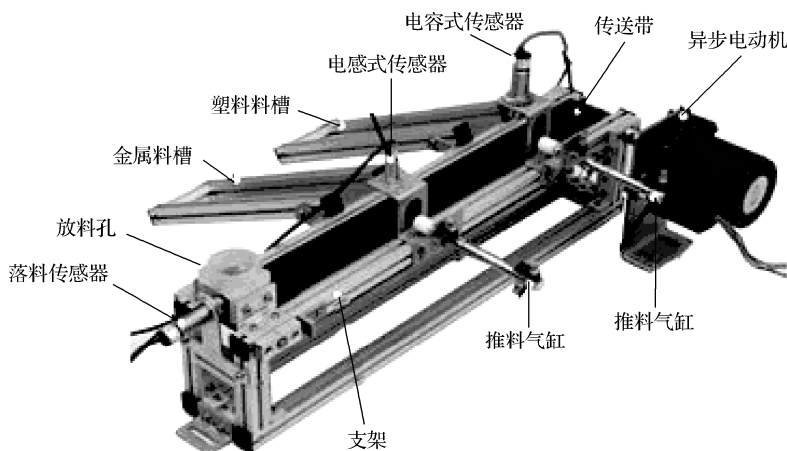


图 1-5 材料（金属、塑料）分拣装置

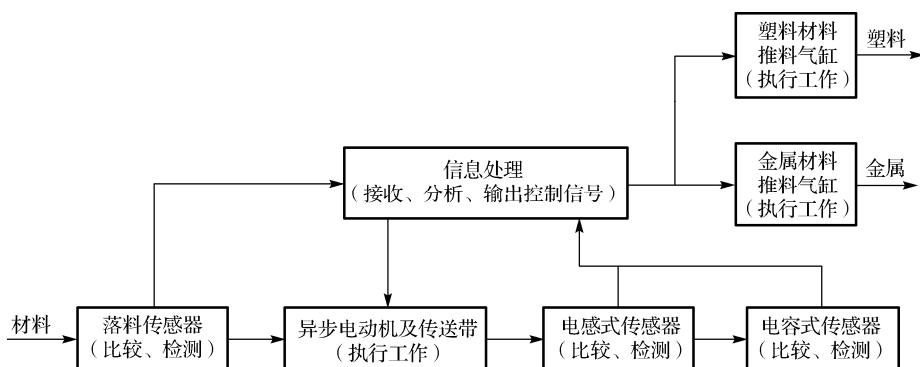


图 1-6 材料分拣工作流程



## 1.3 机电控制技术的发展趋势

### 1.3.1 机电控制技术的发展过程

机电控制技术的发展经历了继电器、接触器控制阶段，电动机放大机控制阶段，晶闸管、晶体管控制阶段，PLC、计算机控制阶段，以及网络化控制阶段五个阶段。

#### 1. 继电器、接触器控制阶段

继电器、接触器控制阶段又称断续控制阶段。该阶段具有结构简单、动作可靠，但控制速度慢、控制精度较差等特点。在功能上，能对控制对象（电动机）实现启动、制动、有级调速控制等。如三相异步电动机的点动控制，正、反转控制，Y-△转换控制，双速转换控制等都是通过接触器、继电器等部件来达到控制目的的。

#### 2. 电动机放大机控制阶段

电动机放大机控制阶段又称连续控制阶段。该阶段反馈环节、可靠性高、能实现连续控制、



拖动性能好、自动化控制较高,但结构较复杂、调试较困难等特点。如龙门刨床的工作控制及其电路就是典型的电动机放大机控制系统。

### 3. 晶闸管、晶体管控制阶段

在晶闸管、晶体管控制阶段引进了电力电子技术,通过晶闸管、晶体管来实现无级调速的控制。该阶段具有控制简单、自动化程度高、调试简单、维护工作量少等特点。如直流电动机的晶闸管无级调速系统和交流电动机的电力电子元件无级调速系统。

### 4. PLC、计算机控制阶段

单片机、PLC在机电控制技术中的应用是继电器常规控制技术与微机(计算机)技术的结合。PLC(可编程控制器)是一台按开关量输入的工业控制专用计算机,简单地说,PLC(可编程控制器)就是专用于工业上的微型计算机。该阶段具有逻辑运算功能、定时/计数功能、数字运算功能、通信功能等,大大地丰富了自动化控制的手段,提高了制速度和精度。如自动电梯、数控设备等。

### 5. 网络化控制阶段

网络化控制阶段通过网络控制来提高生产机械的通用性和效率,集中管理控制程度高,可实现机械加工全盘自动化等。如加工中心、柔性制造系统(FMS)、无人车间(工厂)等。

## 1.3.2 机电控制技术的发展趋势(方向)

机电控制技术是融合了机械技术、电子技术、自动控制技术、信息处理技术、检测传感技术、电力电子技术等于一体的交叉综合技术,它的发展和进步依赖并促进各种相关技术的发展和进步。因此,机电控制技术将在性能上向高精度、高效率、高性能、智能化方向发展;在功能上向小型化、轻型化、多功能化方向发展;在结构上向系统化、集成化方向发展。概括起来,机电控制技术将朝着以下几个方面发展。

#### 1. 模块化

机电控制技术可以统分为机械、电子、软件三大部分,模块化技术是三者的共同技术。

模块化技术可减少产品的开发和生产成本,提高不同产品间的零部件通用化程度,提高产品的可装配性、可维修性、可扩展性等。如研制和开发具有标准机械接口、电气接口、动力接口、环境接口等单元的产品,这样,可利用标准单元迅速开发出新产品,同时也可以扩大生产规模。

模块化代表了机电控制技术产品未来的发展方向,具有高度自主性、良好的协调性和自组织性的特点。因此,模块化的设计与制造是机电控制技术及其系统采用的基本方法和发展趋势。

#### 2. 系统化

(1) 系统体系结构进一步采用开放式和模式化的总线结构。

系统可以灵活组态,进行任意剪裁和组合,同时寻求实现多个系统协调控制和综合管理。

(2) 通信功能将大大加强,除RS232外,还有RS485、DCS。

机电控制技术产品最终的使用对象是人,因此,如何赋予产品里人的智能、情感,使其具有人性化显得格外重要。另外,还应考虑如何模仿动物的生物机理。

### 3. 网络化

网络技术的兴起和飞速发展给科学技术、工业生产、政治、军事、教育及人们日常生活都带来了巨大的变革。各种网络将全球经济、生产连成一片,企业间的竞争也将全球化。另外,由于网络的普及,基于网络的各种远程控制和监视技术开始兴起,覆盖范围越来越大,现场总线和局域网技术使家用电器网络化,利用家庭网络将各种家用电器连接成以计算机为中心的计算机集成家电系统,使人们在家里可以享受各种高技术带来的便利与快乐。

### 4. 智能化

智能化是对机器行为的描述,它在控制理论的基础上,吸收了人工智能、计算机科学、模糊数学、心理学、生理学等的新思想和新方法,模拟人类智能,使机器和设备具有判断推理、逻辑思维、自主决策等能力,以求得到更高的控制目标。

人工智能系统是一个知识处理系统,它包括知识表示、知识利用、知识获取三个基本问题,其最终目的是模拟人进行问题求解、推理、学习。因此,智能化是机电控制技术及其系统的一个重要发展方向。

### 5. 微型化

由于机电控制技术产品具有体积小、耗能少、运动灵活等特点,在生物医疗、军事、信息等方面具有不可比拟的优势。因此,微型化是其向微型机器和微观领域发展的趋势。

国外称微型化为微机电系统(MEMS),泛指几何尺寸不超过 $1\text{cm}^3$ 的机电产品,并向微米、纳米级发展。微机电系统高度融合了微机械技术、微电子技术和软件技术,发展的难点在于微机械并不是简单地将大尺寸的机械按比例缩小。由于结构的微型化,因此其在材料、机构设计、摩擦特性、加工方法、测试与定位、驱动方式等方面都产生了一些特殊的问题。

### 6. 绿色化

绿色化主要是指设备、产品在使用时不污染生态环境;报废后能回收二次利用。

工业的发展给人们的生活带来了巨大变化。一方面,物质丰富,生活舒适;另一方面,资源减少,生态环境受到严重污染。于是,人们呼吁保护环境资源,回归自然。绿色产品的概念在这种呼声下应运而生,绿色化成为时代的趋势。

机电控制技术的使命是要能提供一种对生态环境无害或危害极少(低污染)、资源利用率极高(原材料利用率高)、性能高、能耗低、环境舒适和可回收的智能化机械产品,即提供一种能满足可持续性发展的绿色产品,以满足特定的环境保护和人类健康的要求。



## 1.4 自动控制系统的基本知识

### 1.4.1 自动控制的概念

自动控制技术与机电控制技术是密切相关的,在科学发展迅猛的今天,许多设备和产



品都离不开“自动”，如发电设备的频率自动调节，电源开关的自动操作，空调设备（机）的温度自动调整，电饭锅的自动保温等。因此，自动控制技术是机电控制技术中一种重要的技术。

自动控制是指在没有人直接参与的情况下，利用相关（外加）的设备或装置，对生产过程或机器、设备等的工作状态（如工艺参数、技术指标、目标要求等）进行自动调节与控制，使之按照预定、预设的方案或规律运行，从而达到要求。自动控制系统是在没有人直接参与的情况下使生产过程或其他过程按预定、预设的方案、规律或程序进行工作的控制系统，简称自控系统。

自动控制技术及其系统的应用目的在于增加产量、提高质量、降低成本和劳动强度、保障生产安全等，从而使人类从复杂、危险、烦琐的劳动环境中解放出来，并大大提高效率。自动控制系统已被广泛应用于人类社会的各个领域，在工业方面，对机械制造、冶金、化工等生产过程中遇到的各种物理量（包括速度、温度、压力、流量、厚度、张力、位置、频率、相位等）的变化都有相应的控制；在农业方面，如水位和水量的自动控制、农业机械的自动操作、农作物虫害的自动消灭等；在军事技术方面，如火力控制系统、制导与控制系统等；在航天、航空和航海方面，有各种形式的控制系统，还有导航系统、遥控系统和各种仿真器等。此外，在办公室自动化、图书管理、交通管理乃至日常家务方面，自动控制技术也都有实际应用，并涉及生物、医学、生态、经济、社会等各种领域。

### 【例 1-3】全自动洗衣机

滚筒式全自动洗衣机如图 1-7 所示。

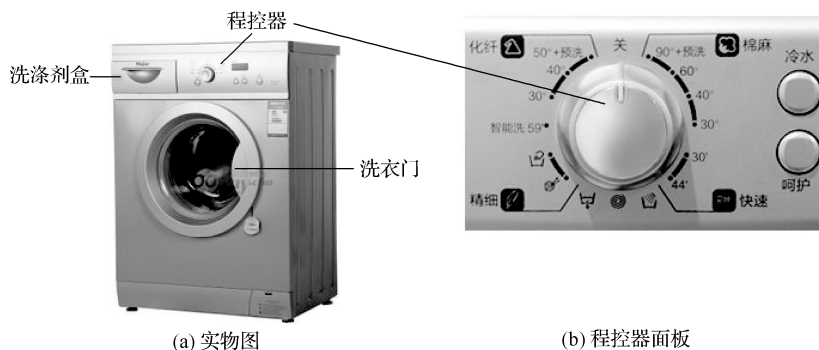


图 1-7 滚筒式全自动洗衣机

工作过程：将待洗的衣物和洗涤剂放进相应的位置；根据待洗衣物类型选择洗衣机程控器的洗涤工作方式（见图 1-7 中的程控器面板）。一旦按下“启动”按钮或进入工作状态，整个洗衣工作都无须人参与。即从进水→检测水位→停进水→洗涤衣物→排水→重新进水→……→排水→衣物脱水，甚至衣物烘干等工作过程都自动完成。其工作状态的转换如图 1-8 所示。

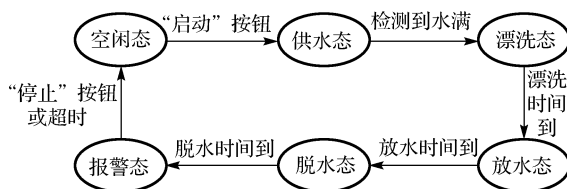


图 1-8 洗衣机工作状态转换图

### 1.4.2 自动控制系统的分类

自动控制系统的分类方法较多，可以从不同的角度进行分类。常见的有以下几种。

#### 1. 按输入量（给定信号）的变化规律分类

(1) 恒值控制系统。恒值控制系统的特点是系统的输入量为恒量（定值），并且要求系统的输出量相应地保持恒定。如生产过程中的恒转速控制、恒温控制、恒压控制、恒流量控制、恒液位高度控制等常见的控制系统，这一类控制系统的任务是保证在各种扰动（干扰）作用下，被控量始终保持在给定值，以减少并抑制扰动对输出量的影响，使输出量保持在预期值上。

(2) 随动控制系统（又称伺服控制系统）。随动控制系统的特点是输入量是变化的（通常是随机的），并且要求系统的输出量能够准确、迅速地跟随输入量的变化而做出相应的变化。如火炮控制系统、雷达自动跟踪系统、刀架跟踪（跟随）系统、机械人控制系统等。由于系统的输入量是随时变化的，因此，这一类控制系统的任务是提高系统输出量跟随输入量动作的准确性和快速性。

(3) 程序控制系统（又称过程控制系统）。程序控制系统的特点是系统的输入量不为常值，但其变化规律是预先知道和确定的，要求输出量与给定量的变化规律相同。如化工、石油、造纸中的原料生产过程，以及冶炼及发电中的热力过程等，在提供一定的外界条件（如温度、压力、流量、液位、浓度等）下保持恒值或按预定的规律变化。又如数控机床的工作台移动系统、自动生产线等。

#### 2. 按系统传输信号对时间的关系分类

(1) 连续控制系统。连续控制系统的特点是控制作用的信号为连续量或模拟量，即系统中各环节传递的信号都是时间  $t$  的连续函数（模拟量）。

(2) 离散控制系统（又称采样数据系统）。离散控制系统的特点是系统中有的信号是断续量、数字量或采样数据量，即系统中有一处或多处信号为时间  $t$  的离散信号。如脉冲信号或数码信号。

#### 3. 按系统的输出量和输入量之间的关系分类

(1) 线性控制系统。线性控制系统的特点是构成系统的所有元件或环节都为线性性质。

(2) 非线性控制系统。非线性控制系统的特点是构成系统的某个元件或某一个环节具有非线性性质（如出现死区、饱和区等）。

#### 4. 按控制方式和控制原理分类

按控制方式和控制原理的分类是最常用的分类方法。

(1) 开环控制系统。开环控制系统的特点是系统的输出量仅受输入量的控制，过程是不可逆的，因此，系统的控制精度和抑制干扰等特性都比较差。

(2) 闭环控制系统。闭环控制系统的特点是系统的输出量不仅受输入量的控制，同时还受通过某些环节返回并与输入量比较后的偏差的控制。这些环节又称为反馈环节。由于系统形成闭合环路，所以称为闭环控制系统或反馈控制系统。该系统可获得比较好的控制性能。



### 1.4.3 自动控制系统的组成

#### 1. 开环控制系统

开环控制系统方框图如图 1-9 所示。

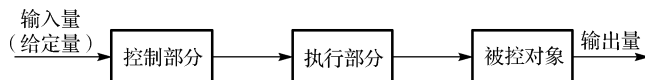


图 1-9 开环控制系统方框图

如例 1-3 中的全自动洗衣机就是一个开环控制系统。其洗涤过程从进水、洗涤、漂洗到脱水等都是按预定的时间程序（输入量）依次进行工作的，而无法对衣服清洁程度、脱水程度等（输出量）进行监控。也就是说，输出量（如衣服清洁程度、脱水程度等）只受输入量（时间程序）的控制。

从开环控制系统方框图可知，系统的基本组成部分是控制部分、执行部分和被控对象等。

##### 1) 控制部分

该部分主要是接收预定的信息或程序，并输出控制信号。如例 1-3 中的程控器。

##### 2) 执行部分

该部分在接到控制信号后动作，完成相应的操作。如例 1-3 中的洗涤电动机、进水或排水电磁阀、脱水电动机等。

##### 3) 被控对象

如例 1-3 中的波轮、滚筒、脱水筒等。

开环控制系统具有结构简单、系统稳定性好、成本较低的优点，但当控制过程受到各种扰动（干扰）因素影响时，系统不能自动进行补偿，将会直接影响到输出量。

#### 2. 闭环控制系统

闭环控制系统方框图如图 1-10 所示。

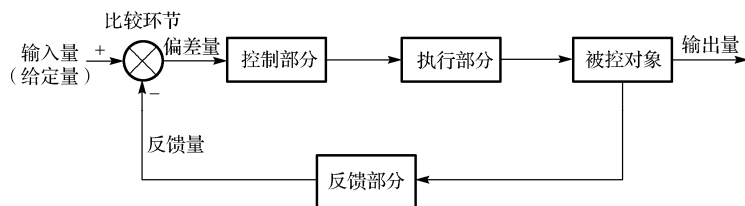


图 1-10 闭环控制系统方框图

如例 1-2 材料（金属、塑料）分拣装置就是一个闭环控制系统。其从材料进入、输送，经过电感式传感器或电容式传感器，再到材料被推入相应的料槽等过程，都存在比较、分析、判断的步骤，即材料在分拣时与原设定的信息比较，若出现偏差就会产生控制信号，通过执行机构驱动被控对象运动。因此，该装置需要反馈并作用于控制部分，形成闭合环路。

从闭环控制系统方框图可知，系统的基本组成部分除控制部分、执行部分和被控对象外，还增加了反馈部分（反馈环节）和比较环节。

控制部分、执行部分和被控对象与开环控制系统相同。

### 1) 控制部分

如例 1-2 中的信息处理及控制器（计算机）。

### 2) 执行部分

如例 1-2 中的传送带异步电动机、金属材料推料气缸、塑料材料推料气缸等。

### 3) 被控对象

如例 1-2 中的金属材料、塑料材料。

### 4) 反馈部分（反馈环节）

该部分主要检测被控对象的状态信息（输出量），并转换成相应的信号（反馈量）送至比较环节。如例 1-2 中的落料传感器、电感式传感器、电容式传感器等。

### 5) 比较环节

该部分用于将返回的反馈量与原设定的输入量（给定量）进行比较，得到偏差（偏差量）后产生控制信号再送至控制部分。如例 1-2 中的信息处理器（计算机）。

闭环控制系统最突出的优点是通过反馈可以自动进行修正、调整、补偿等，因此，系统的抗扰动（抗干扰）能力强。它的缺点是结构复杂、成本提高、系统稳定性变差等。

## 训练项目 1：参观机械手或自动生产流水线

### 1. 训练目的

通过参观，详细了解机电控制技术及其系统、设备在社会生产和生活中（特别是机械手、自动生产流水线）的应用，进一步理解、掌握机电控制技术及其系统的特点、基本结构及发展的过程等。

### 2. 训练内容

到有关的生产企业或实验室参观自动生产流水线或机械手，了解产品的生产工艺流程或机械手，以及应用机电控制技术的程度。

#### 【例 1-4】包装自动流水线及工艺流程

包装自动流水线及工艺流程如图 1-11 和图 1-12 所示

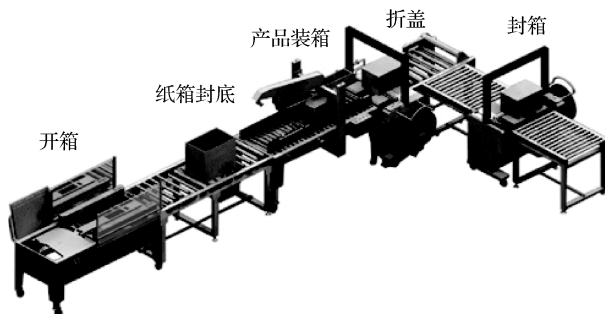


图 1-11 包装自动流水线

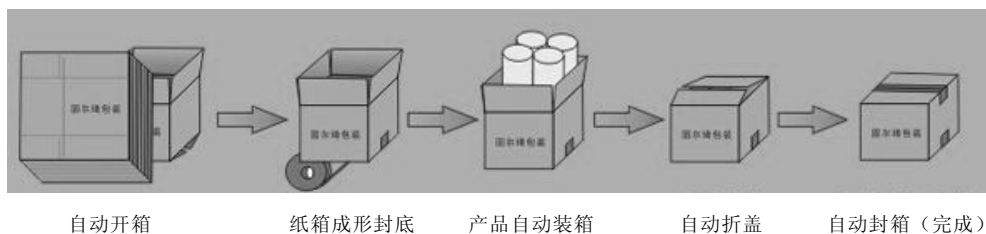


图 1-12 包装自动流水线工艺流程

### 3. 注意事项

- (1) 参观前应进行安全教育。
- (2) 组织参观要做好细致的工作，如事先了解现场环境，安排参观位置等。以保证安全、不影响生产为前提，以确保教学效果为原则。
- (3) 努力提高理论联系实际的能力，了解知识在实际生产、生活中的应用，虚心向有实践经验的工人和技术人员学习。

### 4. 思考

- (1) 列出本次参观的自动生产流水线或机械手的工艺流程。
- (2) 比较本次参观的自动生产流水线或机械手所应用的机电控制技术。
- (3) 对本次参观的认识、收获。



## 本章小结

- 机电控制技术是在机械技术、电气技术的基础上融合了微电子技术、自动控制技术、信息处理技术、检测传感技术、电力电子技术等于一体的综合技术。
- 机电控制技术具有机电有机结合、监测与控制并重、操作性能的柔性、使用者与机器融合交互等特点。
- 机电控制技术是一个技术群（族）的总称。其所涉及的技术领域非常广泛，概括起来包括：自动控制技术、信息处理技术、检测传感技术、伺服驱动技术、精密机械技术等多种技术。
- 机电控制系统主要由比较环节、驱动部分、执行部分、检测部分、被控对象和各部分工作所需的电源组成。
- 闭环控制系统是机电控制系统最常用的系统，其特征是存在反馈环节。
- 机电控制技术的发展经历了继电器、接触器控制阶段，电动机放大机控制阶段，晶闸管、晶体管控制阶段，PLC、计算机控制阶段，网络化控制阶段五个阶段。
- 机电控制技术的发展趋势：在性能上向高精度、高效率、高性能、智能化方向发展；在功能上向小型化、轻型化、多功能化方向发展；在结构上向系统化、集成化方向发展。
- 机电控制技术将朝着模块化、系统化、网络化、智能化、微型化、绿色化等方向发展。

- 自动控制技术与机电控制技术有密切关系，许多机电控制系统都是自动控制系统，而自动控制技术及其系统广泛应用于社会的各个领域。
- 开环控制系统结构简单、稳定性好，但不能自动补偿或修正扰动对系统输出量的影响。闭环控制系统具有反馈部分，通过其进行自动调节，以补偿扰动对系统产生的影响，从而极大地提高了系统的精度，但稳定性变差。
- 闭环控制系统通常由控制部分、执行部分、被控对象、反馈部分和比较环节等组成。



## 习 题 1

### 一、单选题

1. 机电控制技术是各种技术的（ ）。  
A. 相互渗透      B. 取长补短      C. 分离体      D. A 和 B
2. 机电控制技术是机械技术与微电子技术及其他新技术的（ ）。  
A. 组合      B. 结合      C. 有机结合      D. 拼凑
3. 机电控制技术与机械电气化的根本区别在于（ ）。  
A. 电动机+电气的结合      B. 控制电器+电动机的结合  
C. 电动机+电子的有机结合      D. 机、电的有机结合
4. 机电控制技术包括：自动控制技术、信息处理技术、检测传感技术、伺服驱动技术、（ ）等。  
A. 电子技术      B. 模拟电子技术  
C. 数字电子技术      D. 精密机械技术
5. 机电控制技术包括：自动控制技术、信息处理技术、（ ）、伺服驱动技术等。  
A. 检测遥控技术      B. 检测传感技术  
C. 检测遥感技术      D. 检测自动技术
6. （ ）技术是指使系统按照一定的程序有目的、准确无误地运行。  
A. 检测传感      B. 自动控制      C. 伺服驱动      D. 精密机械
7. 实现信息处理技术的主要设备是（ ）。  
A. 计算机      B. 计算机软件      C. 计算机硬件      D. 计算机网络
8. 检测传感技术是将（ ）转换为相应的电量。  
A. 物理量      B. 化学量      C. 生物量      D. A、B、C
9. （ ）技术使用的主要是系统中完成操作的执行元件。  
A. 检测传感      B. 自动控制      C. 伺服驱动      D. 精密机械
10. 机电控制系统由于存在（ ）部分，因此系统是闭环控制系统。  
A. 比较      B. 驱动      C. 执行      D. 检测
11. 系统工作时，若输入量与反馈量比较后，输出量出现偏差，则说明被控对象的运行或工作（ ）。  
A. 正确      B. 不正确      C. 没有影响      D. A 或 B
12. 可编程序控制器是按（ ）输入的工业控制计算机。



- A. 模拟量      B. 数字量      C. I/O 量      D. O/I 量
13. 机电控制技术今后将在性能上向 ( ) 和智能化方向发展。  
A. 高精度      B. 高效率      C. 高性能      D. A、B、C
14. ( ) 系统的特点是输入量为定值, 且要求输出量相应地保持恒定。  
A. 恒值控制      B. 伺服控制      C. 随动控制      D. 程序控制
15. ( ) 系统的特点是输入量不为常值, 但其变化规律是预先知道和确定的, 要求输出量与给定量的变化规律相同。  
A. 恒值控制      B. 伺服控制      C. 随动控制      D. 程序控制
16. ( ) 系统的特点是控制作用的信号为连续量。  
A. 恒值控制      B. 连续控制      C. 离散控制      D. 采样数据
17. ( ) 系统的特点是系统中的信号是断续量或数字量。  
A. 恒值控制      B. 连续控制      C. 离散控制      D. 随动控制
18. ( ) 系统的特点是系统的输出量仅受输入量的控制。  
A. 恒值控制      B. 连续控制      C. 开环控制      D. 闭环控制
19. 开环控制系统由 ( ) 等组成。  
A. 控制部分      B. 执行部分      C. 被控对象      D. A、B、C
20. 开环控制的特征是 ( )。  
A. 具有环路      B. 具有反馈环节      C. 没有反馈环节      D. A 和 B
21. 开环控制的优点是 ( )。  
A. 结构简单      B. 结构复杂      C. 成本高      D. 对输出量没有影响
22. 开环控制的缺点是 ( )。  
A. 对输出量没有影响      B. 结构复杂  
C. 成本高      D. 不能实现自动补偿
23. 闭环控制系统又称为 ( ) 控制系统。  
A. 反馈      B. 输入      C. 开环      D. 输出
24. 由于系统形成闭合环路, 所以称为 ( ) 控制系统。  
A. 反馈      B. 输入      C. 开环      D. 输出
25. 闭环控制的特征是 ( )。  
A. 具有环路      B. 没有环路      C. 没有反馈环节      D. B 和 C
26. 闭环控制的优点是 ( )。  
A. 结构简单      B. 精度高      C. 稳定性好      D. 对输出量没有影响
27. 闭环控制的缺点是 ( )。  
A. 对输出量没有影响      B. 能补偿扰动的影响  
C. 稳定性差      D. 精度差

## 二、判断题

1. 机电控制技术的产生是科学技术发展的非自然结果。 ( )
2. 机电控制技术的产生是机械技术与微电子技术的一门组合。 ( )
3. 以电动机为主导, 以控制为线索, 将机、电有机结合起来, 这是机电控制技术与机械电气化在概念上的根本区别。 ( )

4. 以电动机为主导,以控制为线索,将机、电有机结合起来,这是机电控制技术与机械电气化在功能上的根本区别。 ( )
5. 机电控制技术的主要功能体现在高(多)功能、高质量、高可靠性、高能耗等方向。 ( )
6. 伺服驱动技术是指使系统按照一定的程序有目的、准确无误地运行。 ( )
7. 自动控制可以使系统的运行效率和精度迅速提高。 ( )
8. 检测传感技术是将各种流量转换为相应的电量。 ( )
9. 精密机械技术将对系统、结果(产品)的质量、动态性能、稳定性能、操作精度和控制质量等具有直接的决定性的影响。 ( )
10. 机电控制系统的特征是存在反馈环节,因此系统是开环控制系统。 ( )
11. 系统工作时,若输入量与反馈量比较后,输出偏差量为零,则说明被控对象的运行或工作正确。 ( )
12. 电源供给系统各部分工作时所需的电能。 ( )
13. PLC(又称可编程控制器)是按模拟量输入的工业控制计算机。 ( )
14. 机电控制技术今后将在结构上向高精度、高效率、高性能、智能化方向发展。 ( )
15. 机电控制技术今后将在性能上向系统化、集成化方向发展。 ( )
16. 智能化是机电控制技术及其系统的一个重要发展方向。 ( )
17. 自动控制系统是指人们直接参与工作的控制系统。 ( )
18. 随动控制系统的特点是输入量是变化的,且要求输出量能够准确、迅速地跟随输入量的变化做出相应的变化。 ( )
19. 过程控制系统的特点是输入量为定值,且要求输出量相应地保持恒定。 ( )
20. 连续控制系统的特点是系统中的信号为数字量。 ( )
21. 开环控制系统的特点是系统的输出量仅受输入量的控制。 ( )
22. 闭环控制系统的特点是系统的输出量不仅受输入量的控制,同时还受某些环节返回与输入量比较后的偏差的控制。 ( )
23. 开环控制系统结构简单、稳定性好,能自动补偿扰动对输出量的影响。 ( )
24. 闭环控制系统的特征是存在反馈环节。 ( )
25. 闭环控制系统依靠反馈环节进行自动调节来补偿扰动对系统所产生的影响。 ( )
26. 闭环控制极大地提高了系统的稳定性,但使系统的精度变差。 ( )

### 三、多选题

1. 机电控制技术是融合了( )等于一体的综合技术。  
A. 机械技术      B. 晶体管技术      C. 微电子技术      D. 变电技术  
E. 自动控制技术      F. 信息处理技术      G. 检测传感技术      H. 电力技术
2. 机电控制系统主要由( )组成。  
A. 电气量      B. 比较环节      C. 驱动部分      D. 执行部分  
E. 反馈量      F. 被控对象      G. 检测部分      H. 监察部分



3. 机电控制技术的主要功能体现在（ ）。  
A. 高功能      B. 多功能      C. 少功能      D. 高质量  
E. 高能耗      F. 低能耗      G. 低效率      H. 高可靠性
4. 机电控制技术包括（ ）等。  
A. 自动控制技术    B. 精密机械技术    C. 模拟电子技术    D. 数字电子技术  
E. 信息处理技术    F. 检测传感技术    G. 伺服驱动技术    H. 电子技术
5. 机电控制系统主要由（ ）组成  
A. 比较环节      B. 驱动部分      C. 执行部分      D. 检测部分  
E. 被控对象      F. 电源      G. 电动机      H. 机械部件
6. 执行部分的设备主要有（ ）类型。  
A. 步进电动机    B. 交、直流电动机    C. 液压缸      D. 液压电动机  
E. 气压缸      F. 液压式      G. 气动式      H. 电动式
7. 机电控制技术今后将在性能上向（ ）方向发展；在功能上向（ ）和多功能化方向发展；在结构上向（ ）方向发展。  
A. 高精度      B. 系统化      C. 高性能      D. 智能化  
E. 集成化      F. 小型化      G. 轻型化      H. 高效率
8. 自动控制系统按输入量的变化规律分类，可分为（ ）等系统。  
A. 恒值控制      B. 伺服控制      C. 随动控制      D. 程序控制  
E. 过程控制      F. 连续控制      G. 离散控制      H. 采样数据
9. 自动控制系统按系统的输出量和输入量间的关系分类，可分为（ ）等系统。  
A. 恒值控制      B. 伺服控制      C. 随动控制      D. 程序控制  
E. 过程控制      F. 连续控制      G. 线性控制      H. 非线性控制
10. 开环控制系统是由（ ）等组成的。  
A. 电动部分      B. 气动部分      C. 控制部分      D. 执行部分  
E. 被控对象      F. 反馈部分      G. 比较部分      H. 输出部分
11. 闭环控制系统通常是由（ ）等组成的。  
A. 电动部分      B. 气动部分      C. 控制部分      D. 执行部分  
E. 被控对象      F. 反馈部分      G. 比较部分      H. 输出部分

# 第2章 电动机及其控制技术



## 学习目标

本章主要讲述的是机电设备的动力源——电动机及其控制技术，电动机控制技术也是机电控制技术中较为常用的一种控制技术。通过本章的学习，应明确各类电动机的基本控制技术（如电动机的启动、反转、制动）及调速控制，掌握通过继电器-接触器控制各类电动机的工作，熟悉各种继电器、接触器等电气元件的图形符号，具备对控制电路的分析能力，了解继电器-接触器控制系统在工作中的应用，通过训练掌握继电器-接触器控制系统及其对电动机的控制技术。

## 主要内容

- 继电器-接触器控制的基本知识。
- 交流电动机的基本控制。
- 交流电动机的变频调速控制。
- 直流电动机的控制。
- 特种电动机的控制。
- 典型的电气设备控制。



## 2.1 继电器-接触器控制的基本知识

继电器-接触器控制系统是机电控制技术应用中一种最传统的自动控制方式，主要由各种接触器、继电器、按钮开关、转换开关、位置（行程）开关、熔断器等元件组成，通过各种元件的组合完成对各种电动机的基本控制和保护等功能。

继电器-接触器控制系统能满足电动机的动作要求，具有动作准确性高，抗干扰能力强，不易发生误动作，系统结构及其维护和操作简单，但控制动作缓慢，触点易损坏，可靠性差，系统体积大等特点。

继电器-接触器控制系统有自动和手动两种控制方式，相应的电气元件可分为手动电气元件（依靠人手直接操作完成动作转换或状态变化的电气元件，如按钮开关、转换开关等）和自动电气元件（依靠其自身参数变化或外来信号的作用而自动完成动作转换或状态变化的电气元件，如继电器、接触器、熔断器等）。





### 2.1.1 接触器

接触器用于频繁接通或断开电路，实现各类电气设备（如交流或直流电动机、电容器、电焊机、电阻炉、电磁阀、电磁铁、离合器等）的远距离控制。

接触器按电源性质分类可分为交流接触器和直流接触器。

#### 1. 交流接触器

交流接触器的种类很多。几种常见的交流接触器外形如图 2-1 所示。

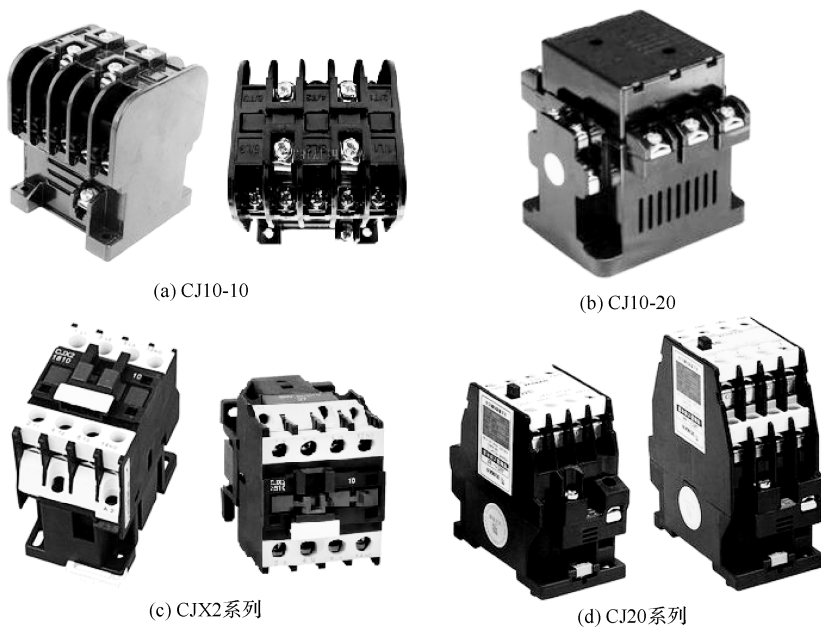


图 2-1 几种常见的交流接触器外形

交流接触器主要由电磁系统、触点系统、灭弧装置及其他部分组成。交流接触器的结构如图 2-2 所示。

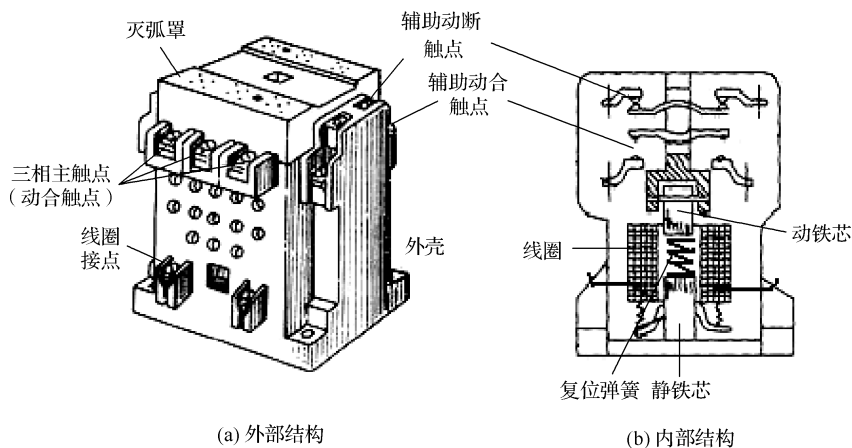


图 2-2 交流接触器的结构

## 1) 电磁系统

电磁系统包括线圈、动铁芯、静铁芯及复位弹簧等。若线圈通以交流电，则线圈中的电流在动、静铁芯间的气隙产生电磁吸力，使动铁芯在电磁吸力的作用下克服复位弹簧的反作用力（弹簧被压缩）与静铁芯吸合，同时带动触点（包括主触点和辅助触点）动作，从而实现控制目的。当线圈断电后，电磁吸力消失，则压缩的复位弹簧释放能量推动动铁芯复位，带动触点动作复位。

## 2) 触点系统

触点系统包括主触点和辅助触点。主触点用于接通或断开较大电流的主电路，通常有三对动合触点；辅助触点用于接通或断开小电流的控制电路，可分为动合触点（又称常开触点）和动断触点（又称常闭触点）。

## 3) 灭弧装置

灭弧装置主要有灭弧罩或灭弧栅等。

## 4) 其他部分

其他部分包括复位弹簧、触点压力弹簧、接线端（接点）、外壳等。

交流接触器的图形及文字符号如图 2-3 所示。

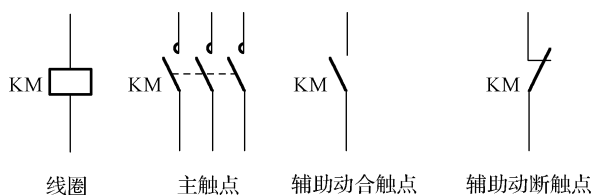


图 2-3 交流接触器的图形及文字符号

### 【例 2-1】交流接触器控制电动机单向运行（主电路）

交流接触器控制电动机单向运行电路如图 2-4 所示。

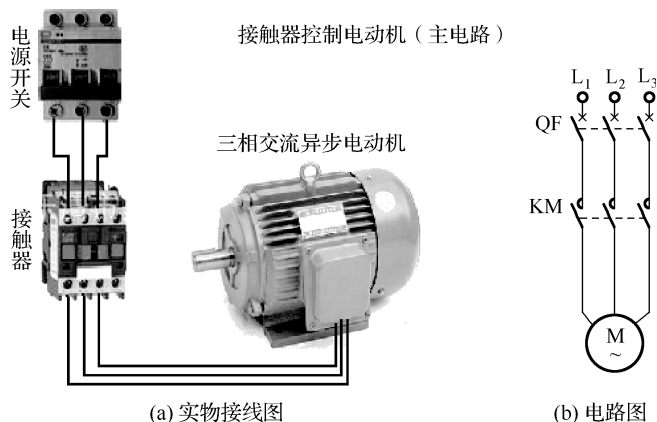


图 2-4 交流接触器控制电动机单向运行电路

## 预备知识

- (1) 三相交流异步电动机的工作原理及其接法。
- (2) 刀开关与断路器作为电源开关的区别和各自的特点。



## 2. 直流接触器

直流接触器的结构和原理与交流接触器基本相同。直流接触器外形如图 2-5 所示。



图 2-5 直流接触器外形

直流接触器的结构如图 2-6 所示。

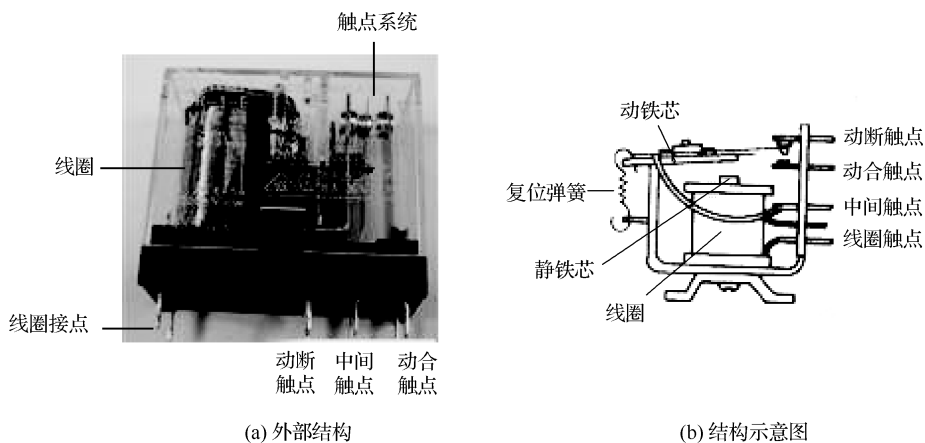


图 2-6 直流接触器的结构

## 3. 接触器选用

- (1) 接触器的额定电压、电流 $\geq$ 负载的额定电压、电流。
- (2) 接触器线圈额定电压应与控制电路的电压相同。
- (3) 根据负载的性质（直流或交流）确定接触器的类型。
- (4) 接触器触点的数量、容量应满足电路的要求。

### 2.1.2 继电器

继电器根据物理量（如电压、电流、压力、时间、转速等）的变化来实现对控制电路的控制。

#### 1. 热继电器

热继电器的作用是利用电流热效应来实现对电动机的过载、断相等的保护。当电动机过载时间长或出现断相（缺相）时，绕组因电流过大而使温升超过允许值，导致损害绕组绝缘，严重时使电动机绕组烧毁。因此，在电路中设置电动机过载、断相等保护。常见的热继电器外形如图 2-7 所示。

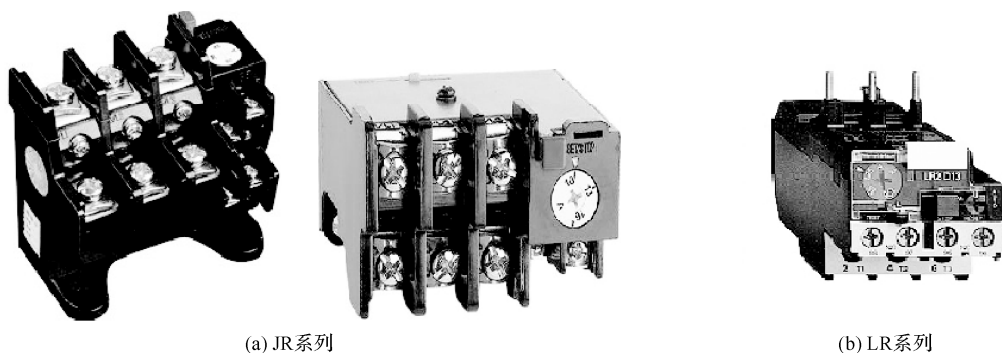


图 2-7 热继电器外形

热继电器主要由热元件、双金属片、触点系统、动作机构、电流整定装置（电流调节）、复位按钮等组成。热继电器的结构如图 2-8 所示。当电流过大时，热元件产生的热量加大使双金属片变形（弯曲）增大，通过动作机构推动触点系统动作，切断电动机的控制电路，从而实现电动机的过载保护。

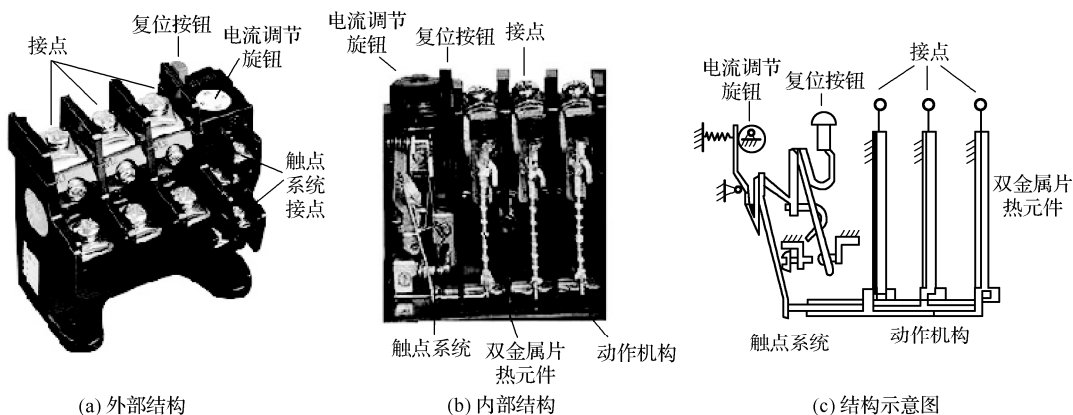


图 2-8 热继电器的结构

热继电器的图形及文字符号如图 2-9 所示。

热继电器的选用一般是根据电动机的额定电流确定的。

**【例 2-2】**交流接触器控制电动机双向运行（主电路）  
交流接触器控制电动机双向运行电路如图 2-10 所示。

#### 预备知识

- (1) 实现三相交流异步电动机的反转。
- (2) 熔断器与热继电器均为保护元件，有何区别？

#### 2. 中间继电器

中间继电器用于将一个输入信号变换成多个输出信号，即增加控制信号的触点数量。常见的中间继电器外形如图 2-11 所示。

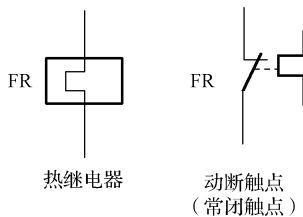


图 2-9 热继电器的图形及文字符号

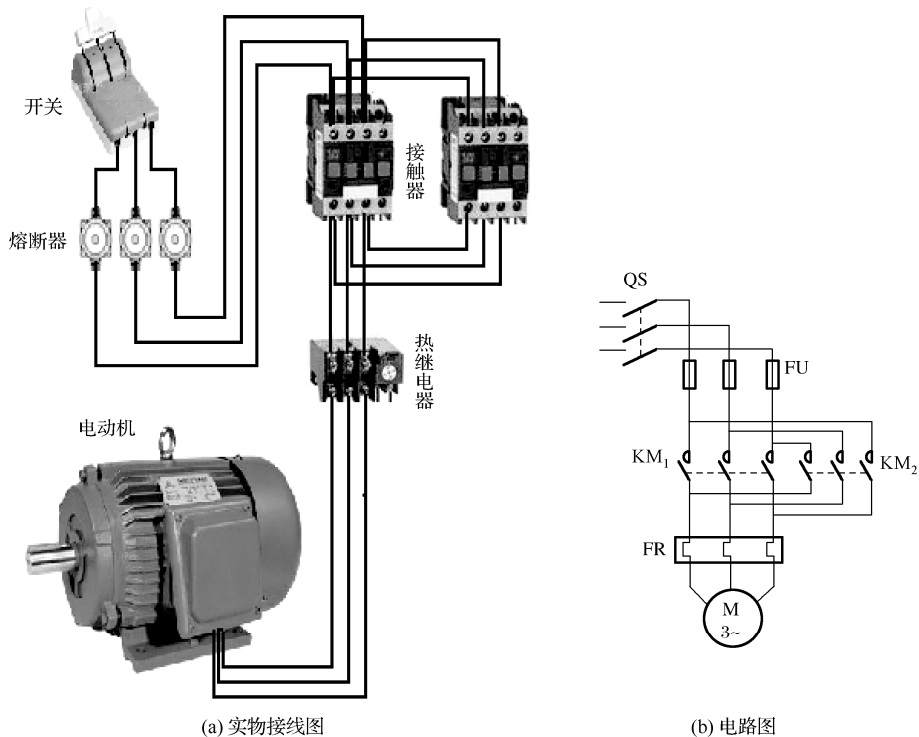


图 2-10 交流接触器控制电动机双向运行电路

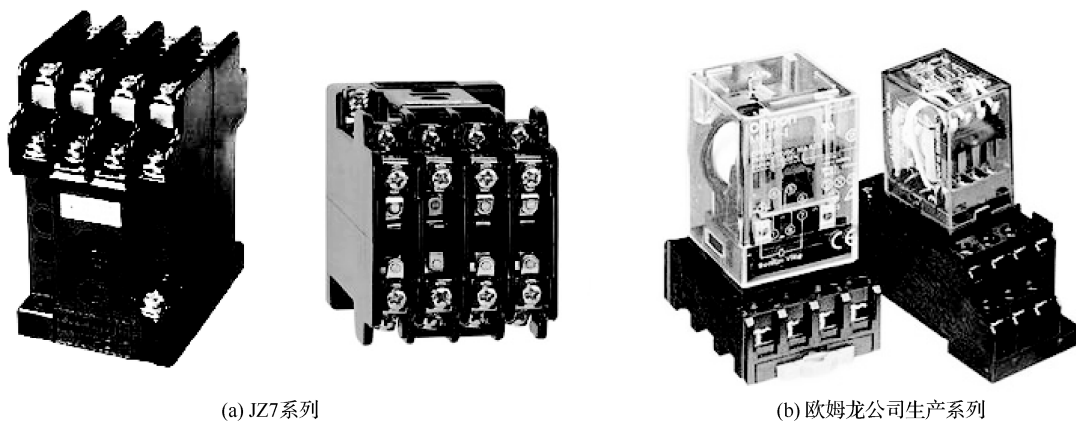


图 2-11 常见的中间继电器外形

中间继电器的结构及其原理与接触器完全相同，区别是其触点系统没有主、辅助之分，且触点对数较多，允许通过的电流均相等。中间继电器的结构如图 2-12 所示。

中间继电器的图形及文字符号如图 2-13 所示。

中间继电器主要根据触点需求及通断能力进行选择。

### 3. 时间继电器

时间继电器是实现触点延时动作的自动控制电气元件，在自动控制装置中使被控对象达到所需要的延时受控。按动作原理可分为电磁式、空气阻尼式、电动式、晶体管式等；按延时方式可分为通电延时型、断电延时型两种。常见的时间继电器外形如图 2-14 所示。

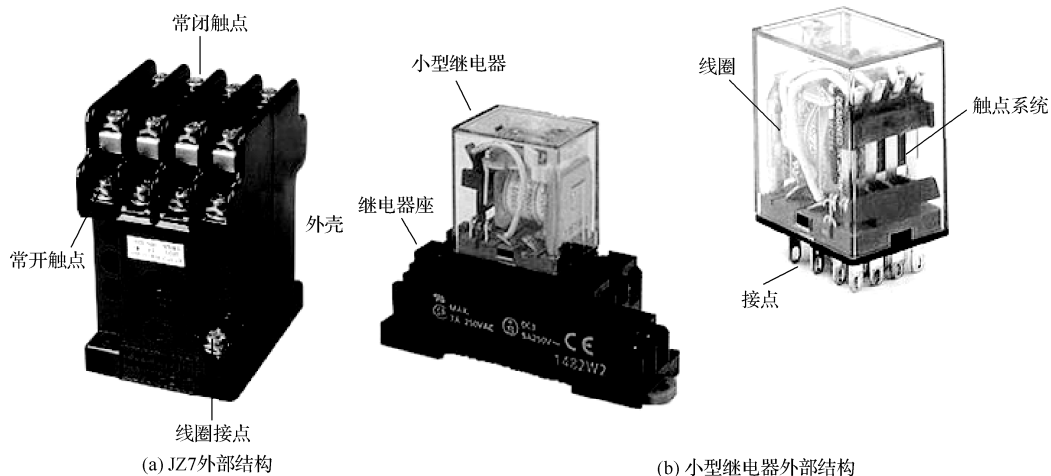


图 2-12 中间继电器的结构

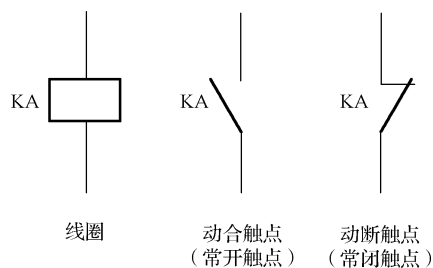


图 2-13 中间继电器的图形及文字符号

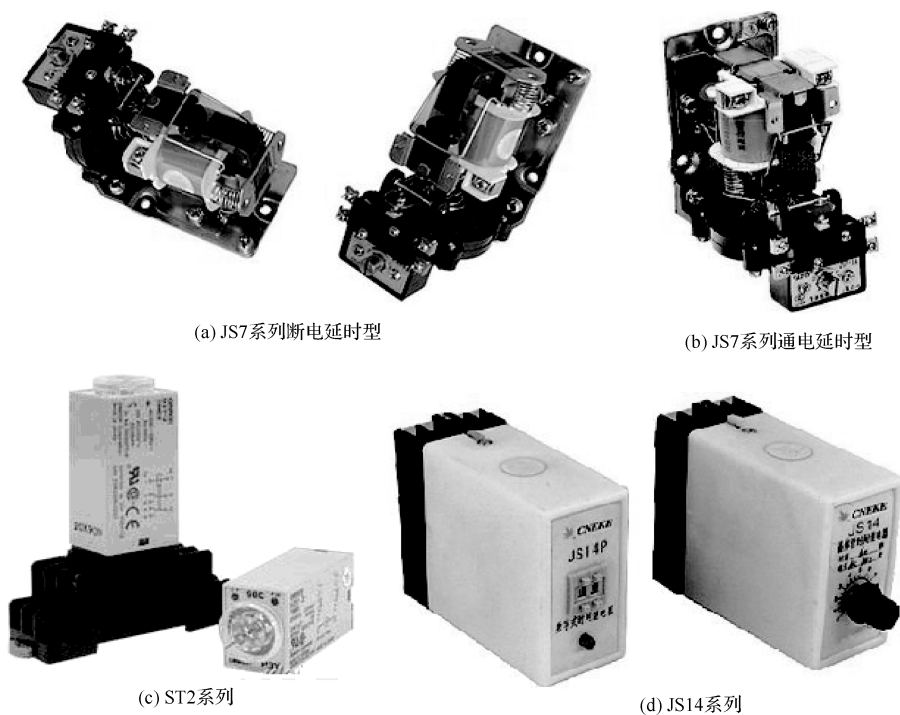


图 2-14 常见的时间继电器外形



空气阻尼式时间继电器主要由电磁系统、触点系统（包括瞬时、延时触点系统）、延时机构（包括气室、气囊等）等组成。空气阻尼式时间继电器的结构如图 2-15 所示。通电型时间继电器是指电磁系统（线圈）通电时通过延时机构使延时触点系统延时动作，而断电时立即复位的时间继电器；断电型时间继电器是指电磁系统（线圈）通电时触点系统立即动作，而断电时通过延时机构使延时触点系统延时复位的时间继电器。

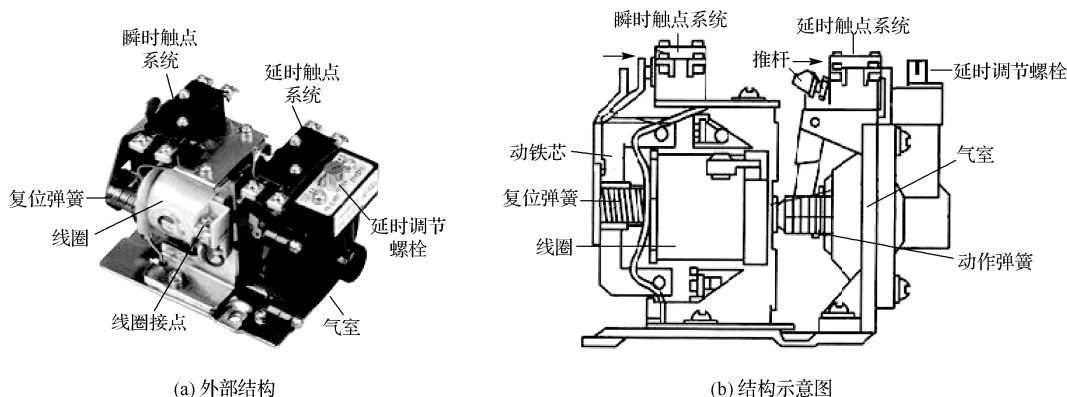


图 2-15 空气阻尼式时间继电器的结构

晶体管式时间继电器种类很多，大都由电子元件组成的延时电路实现触点延时动作。晶体管式时间继电器的外部结构如图 2-16 所示。

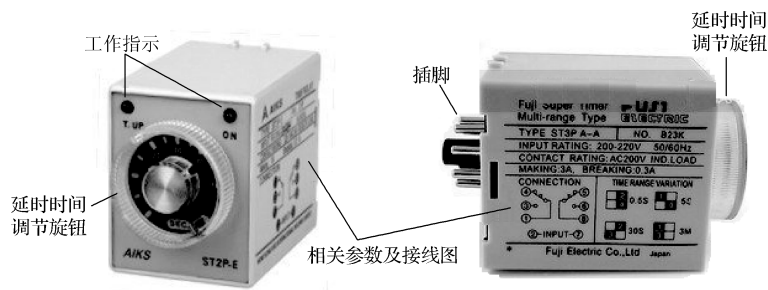


图 2-16 晶体管式时间继电器的外部结构

时间继电器的图形及文字符号如图 2-17 所示。

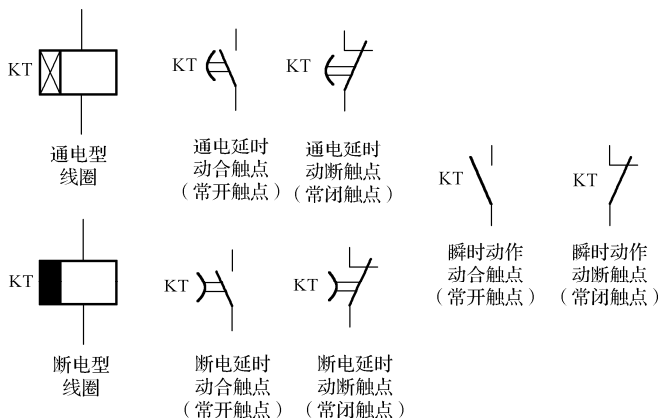


图 2-17 时间继电器的图形及文字符号

时间继电器可根据系统或电路所要求的延时范围、电压等级、精度要求等进行选择。

## 4. 电压继电器

电压继电器是根据检测电压大小而触点动作的保护用继电器，其结构及工作原理与接触器类似。当工作电压在 105%~120%的额定电压范围时，控制触点动作的继电器称为过电压继电器；当工作电压在 40%~70%的额定电压范围时，控制触点动作的继电器称为欠电压继电器。电压继电器外形如图 2-18 所示。



图 2-18 电压继电器外形

电压继电器的图形及文字符号如图 2-19 所示。

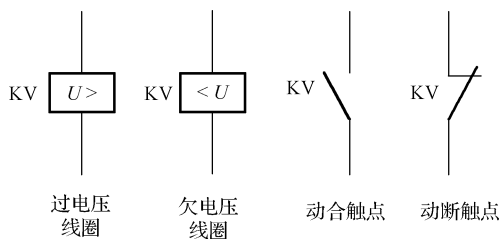


图 2-19 电压继电器的图形及文字符号

## 5. 电流继电器

电流继电器是根据被测电流大小而触点动作的保护用继电器，其结构及工作原理也与接触器类似。当交流电流在 110%~350%的额定电流范围（或直流电流在 70%~300%额定电流范围）时，控制触点动作的继电器称为过电流继电器，主要作为电动机或主电路发生





过载和短路的保护；当工作电流仅为 10%~20%额定电流时（释放电流），控制触点动作的继电器称为欠电流继电器。电流继电器外形如图 2-20 所示。



图 2-20 电流继电器外形

电流继电器的图形及文字符号如图 2-21 所示。

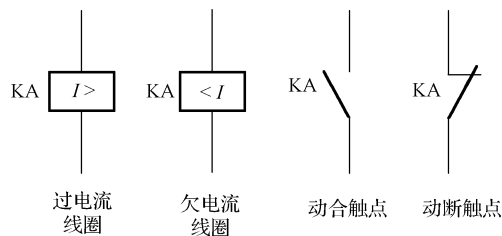


图 2-21 电流继电器的图形及文字符号

### 【例 2-3】机械手运送工件——夹工件工序

机械手夹工件工序的过程如图 2-22 所示。

夹紧工件工序的控制（设想方案）如图 2-23 所示。

控制过程：控制电路通电后→接触器  $KM_1$  得电→手臂电动机正向转动（手臂下降）→…→到达工件位置（SQ 常闭触点断开、常开触点闭合）→对准工件（3s）→时间继电器 KT 控制延时触点闭合→接触器  $KM_3$  得电→夹紧电动机转动夹住工件→…→随夹紧程度加大，电动机电流加大，一旦工作电流大于过电流继电器 KA 的整定值→KA 常闭触点断开→接触器  $KM_3$  失电、复位，夹紧工件工序结束。

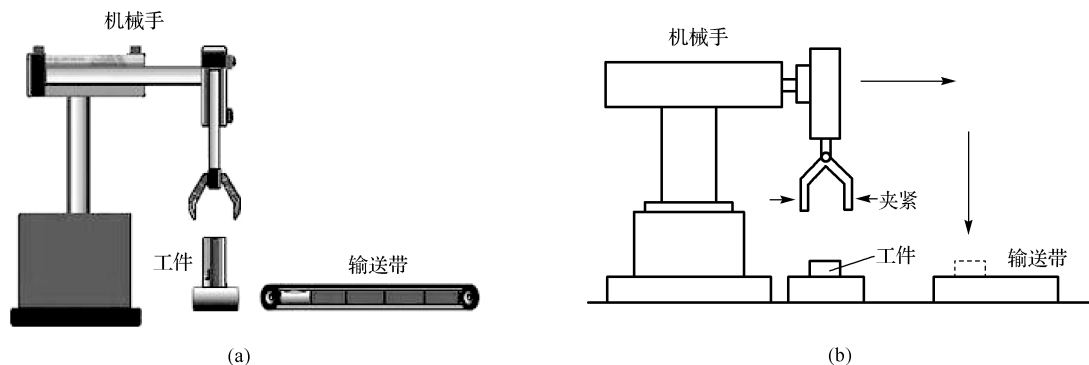


图 2-22 机械手夹工件工序的过程

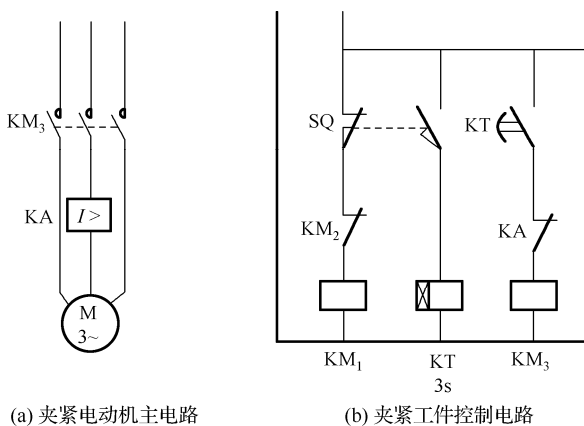


图 2-23 夹紧工件工序的控制（设想方案）

### 2.1.3 主令电器

主令电器是一种在自动控制系统中发出命令（或信息、指令、信号）的操纵电气元件，用于实现对控制电路的接通或断开等各种控制。这类电气元件可根据使用的要求、操作的方式、安装的地点及结构形式等的不同进行很多分类，种类异常繁多。

#### 1. 按钮开关

按钮开关是一种手动电气元件。利用按钮实现远距离发出指令操纵、控制其他电气装置（如接触器、继电器、电磁阀、PLC 等）的工作或状态转换等。几种按钮开关外形如图 2-24 所示。



图 2-24 几种按钮开关外形



按钮开关的基本结构是由按钮帽、复位弹簧、触点系统等组成的。按钮开关的结构、图形及文字符号如图 2-25 所示。

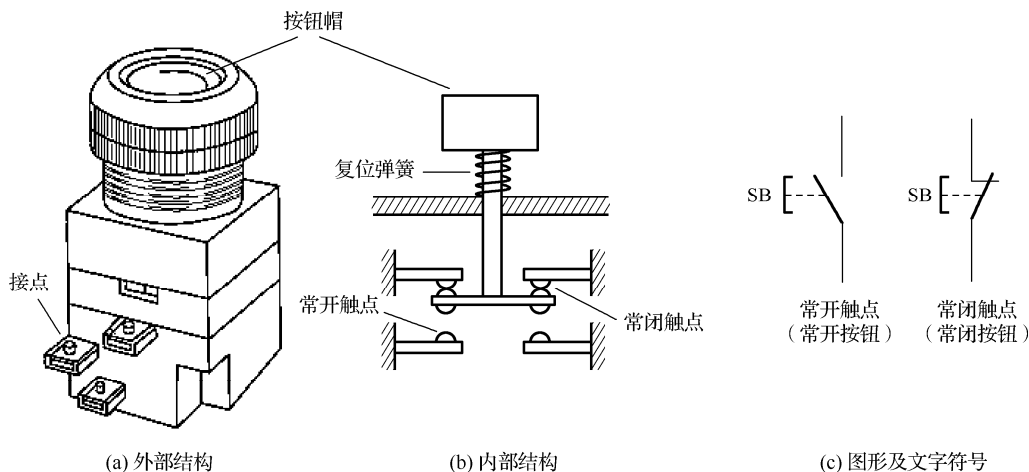


图 2-25 按钮开关的结构、图形及文字符号

按钮开关的选用可根据使用场合、触点数量和颜色（要求红色为停止按钮）等来确定。

## 2. 位置开关

位置开关又称限位开关、行程开关，主要用于检测运动部件的位移，从而限制机械运动的位置或范围（即行程）。位置开关利用运动部件的机械移动发生碰撞而实现触点动作，发出信号或指令，使运动在规定的位置或范围（行程）内自动往返、变速运动、自动停止或启动等。几种位置开关外形如图 2-26 所示。



图 2-26 几种位置开关外形

位置开关的基本结构是由操作机构、复位弹簧、触点系统等组成的。位置开关的结构、图形及文字符号如图 2-27 所示。



图 2-27 位置开关的结构、图形及文字符号

位置开关的选用应根据应用场合、触点形式、操作方式、可靠性等来确定。

#### 【例 2-4】机械手运送工件——输送工序

机械手输送工序的过程及步骤如图 2-28 所示。

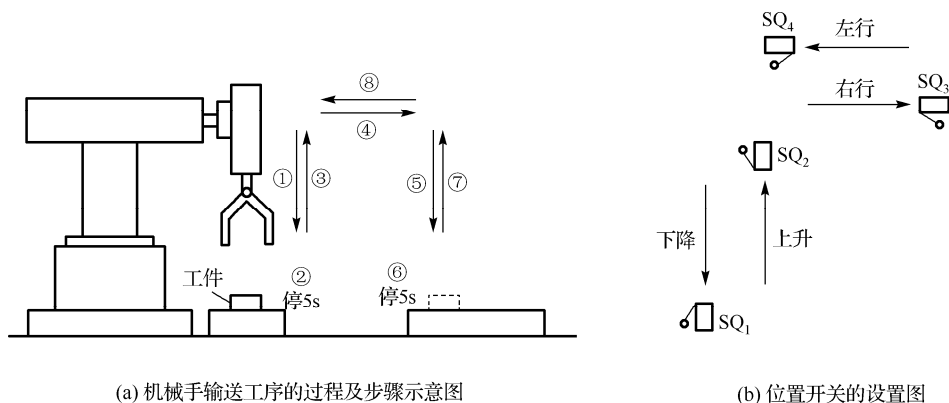


图 2-28 机械手输送工序的过程及步骤

输送工序工作过程：机械手在左上方为原点→①下降→碰撞  $SQ_1$  后停止→②停留 5s→③上升→碰撞  $SQ_2$ →④右行→碰撞  $SQ_3$ →⑤下降→碰撞  $SQ_1$  后停止→⑥停留 5s→⑦上升→碰撞  $SQ_2$ →⑧左行→碰撞  $SQ_4$  停止，即返回原点。

输送工序的控制电路如图 2-29 所示。

控制过程：控制电路通电后→按下按钮  $SB$ →接触器  $KM_1$  得电→手臂电动机正向转动（手臂下降）→碰撞位置开关  $SQ_1$ （常闭触点断开， $KM_1$  失电；常开触点闭合）→时间继电器  $KT_1$  得电，其触点延时闭合→5s（停留）→接触器  $KM_2$  得电→手臂电动机反向转动（手臂上升）→碰撞位置开关  $SQ_2$ （常闭触点断开， $KM_2$  失电；常开触点  $SQ_{2a}$  闭合）→接触器  $KM_3$  得电→伸臂电动机正向转动（手臂伸展即右行）→碰撞位置开关  $SQ_3$ （常闭触点断开， $KM_3$  失电；常开触点闭合）→中间继电器  $KA_1$  得电→手臂电动机正向转动（手臂下降）→碰撞位置开关  $SQ_1$ （常闭触点断开， $KM_1$  失电；常开触点闭合）→时间继电器  $KT_1$  得电，其触点延时闭合→5s（停留）→接触器  $KM_2$  得电→手臂电动机反向转动（手臂上升）→碰撞位置开关  $SQ_2$ （常闭触点断开， $KM_2$  失电；常开触点  $SQ_{2b}$  闭合）→接触器  $KM_4$  得电→



伸臂电动机反向转动（手臂收缩即左行）→碰撞位置开关  $SQ_4$ （常闭触点断开， $KM_4$  失电；常开触点闭合）→中间继电器  $KA_2$  得电→中间继电器  $KA_1$  失电→全部复位，输送工序结束。

思考：中间继电器  $KA_1$ 、 $KA_2$  在控制电路中的作用。

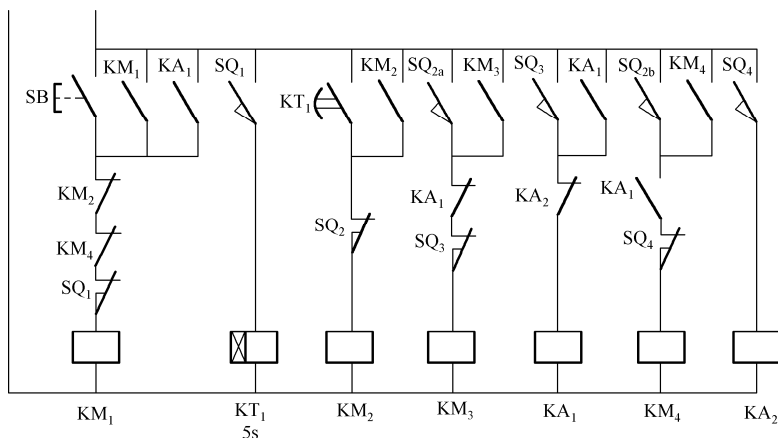


图 2-29 输送工序的控制电路



## 2.2 交流电动机的控制

对交流电动机（包括三相、单相电动机）的控制主要是对电动机启动、换向、调速、制动（停止）等方面的控制。

### 2.2.1 三相交流电动机的控制

#### 1. 三相交流电动机

三相交流电动机通常是指三相交流异步电动机。所谓“异步”是指转子转速  $n$  小于旋转磁场转速（又称同步转速） $n_1$ 。从工作原理来看，电动机的三相对称定子绕组中通入三相交流电流，在定子内就会产生一个同步转速为  $n_1$  的旋转磁场（见图 2-30）。由于当时转子还没有启动（或转子不动），因此旋转磁场与转子绕组（或铸铝条）之间产生了相对运动。根据电磁感应原理，即有转子绕组（或铸铝条）因切割旋转磁场的磁力线而产生感应电动势（感应电流）。感应电动势（感应电流）如图 2-31 所示。该感应电流与旋转磁场的相互作用，在转子上会产生电磁转矩  $f$ ，并迫使转子以转速  $n$  转动，如图 2-31 所示。

转速  $n$  称为转子转速，其方向与旋转磁场的转动方向一致，但由于先有旋转磁场后有转子转动，因此，转子转速  $n$  不等于旋转磁场转速（同步转速） $n_1$ ，且低于同步转速  $n_1$ 。常用的计算公式如下：

$$n_1 = 60f_1/p \quad (2-1)$$

$$s = \Delta n/n_1 = (n_1 - n)/n_1 \quad (2-2)$$

式中， $n_1$  为旋转磁场转速，又称为同步转速（r/min）； $f_1$  为三相交流电的频率（Hz），我国工频为 50Hz； $p$  为旋转磁场的磁极对数； $s$  为转差率； $n$  为转子转速（r/min）。

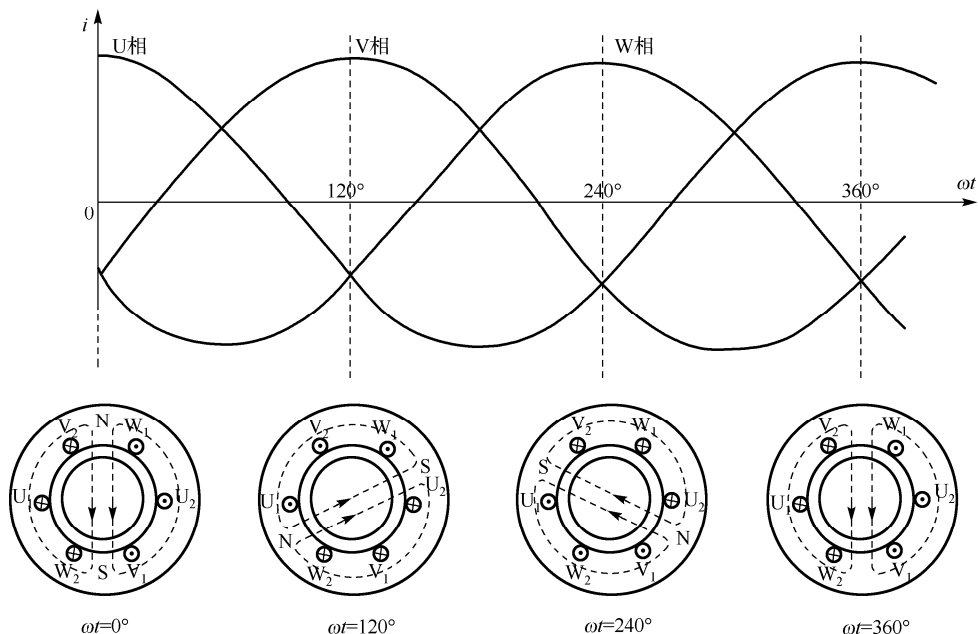


图 2-30 三相交流电流产生的旋转磁场（两极）

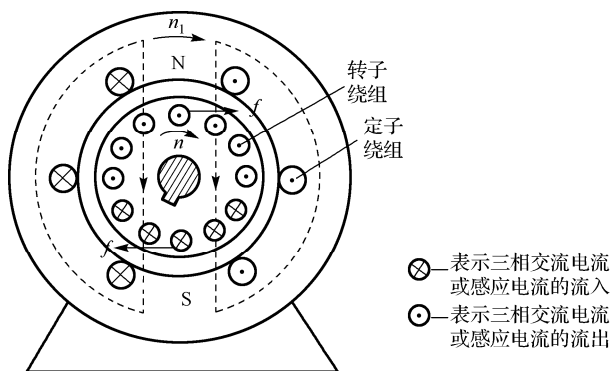


图 2-31 三相交流异步电动机工作原理

三相交流异步电动机按电动机转子结构形式可分为笼形和绕线形（绕线式）两类，如图 2-32 所示。按定子铁芯外圆尺寸大小可分为小型电动机（定子外圆尺寸为 120~500mm）、中型电动机（定子外圆尺寸为 500~990mm）、大型电动机（定子外圆尺寸为 1000mm 及以上）三类。

笼形转子结构简单、制造方便，因此笼形异步电动机广泛使用。绕线形转子由于三相对称绕组需通过集电环（滑环）及电刷装置与外电源连接，因此结构较为复杂，但启动和调速性能好、容量大，一般用于启动、拖动的调速要求较高的场合。

三相笼形异步电动机的结构如图 2-33 所示。

三相笼形异步电动机定子绕组的接线及方式如图 2-34 所示。

**【例 2-5】**一台三相交流异步电动机的铭牌上标注着电压 380/220V，Y/△连接。使用时，定子绕组应如何连接？

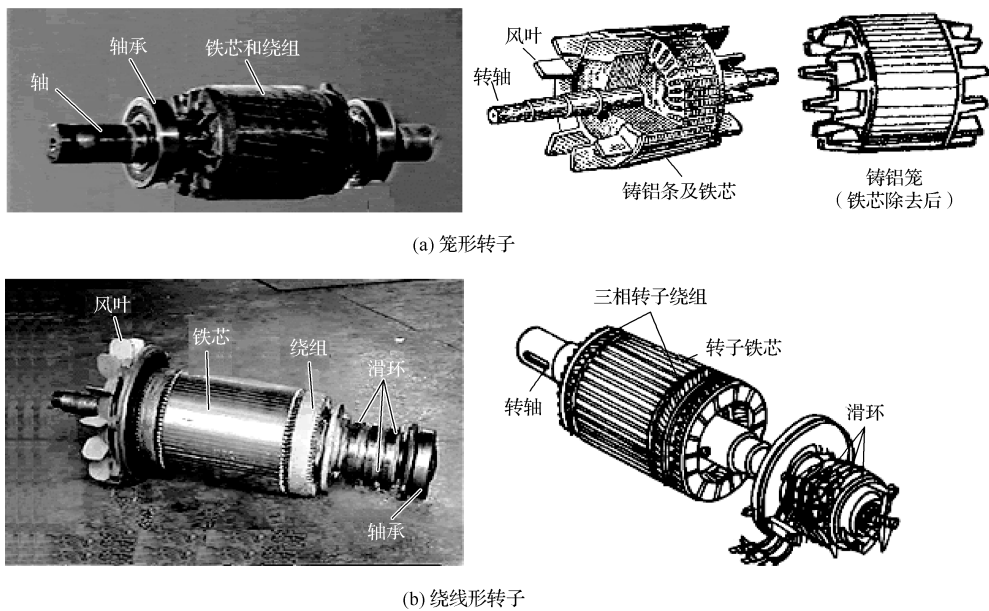


图 2-32 三相交流异步电动机的转子结构

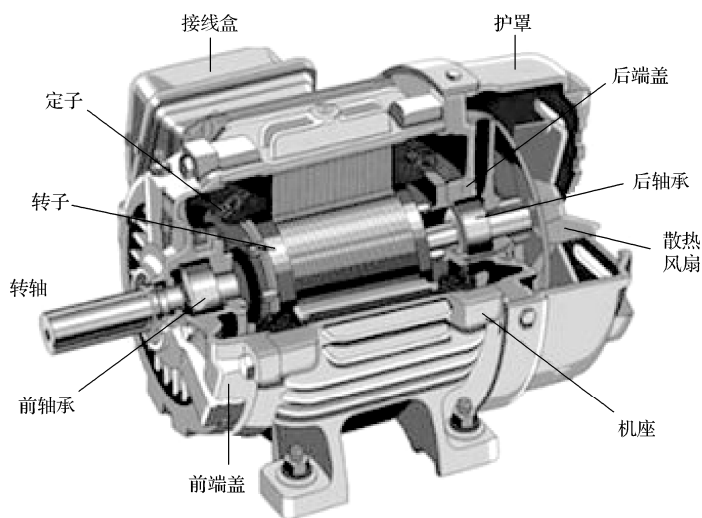


图 2-33 三相笼形异步电动机的结构

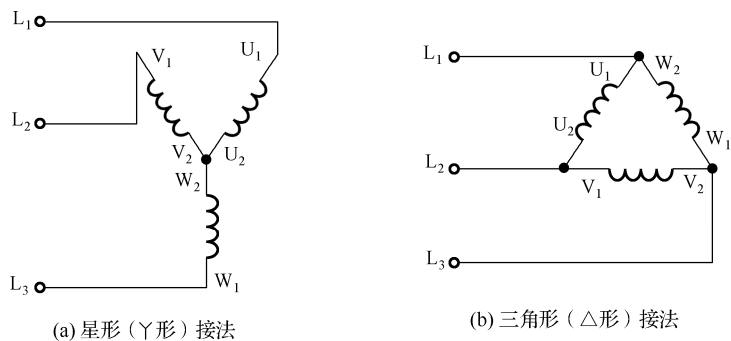


图 2-34 三相笼形异步电动机定子绕组的接线及方式

答：电动机工作时的额定电压应与电源电压相等。根据铭牌值，当电源电压为 380V 时，定子绕组应连接成星形（Y 形）；当电源电压为 220V 时，定子绕组应连接成三角形（ $\Delta$  形），这样才能确保正常工作时定子绕组的相电压为 220V。

定子绕组连接如图 2-35 所示。

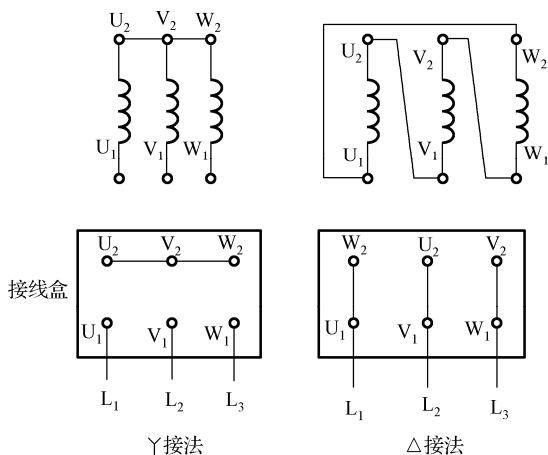


图 2-35 定子绕组连接

## 2. 基本控制

### 1) 启动

一般规定，电动机容量在 10kW 以下可采用直接启动，超过 10kW 以上时通常采用减压启动。

正反启动（直接启动）控制电路如图 2-36 所示。

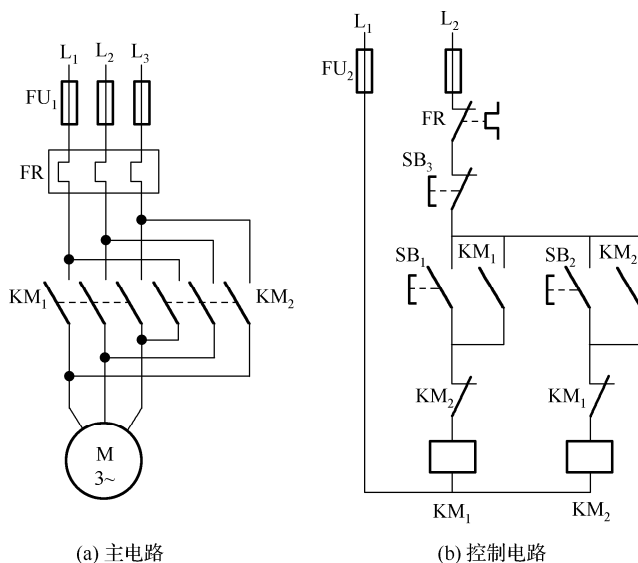


图 2-36 正反启动（直接启动）控制电路

正反启动（直接启动）控制电路的控制过程请自行分析。





根据星形（Y形）连接的特点，电动机在启动时定子绕组采用星形（Y形）连接，则定子绕组的相电压仅为  $1/3$  的线电压，从而实现降压启动。

星形（Y形）-三角形（ $\Delta$ 形）降压启动控制电路如图 2-37 所示。

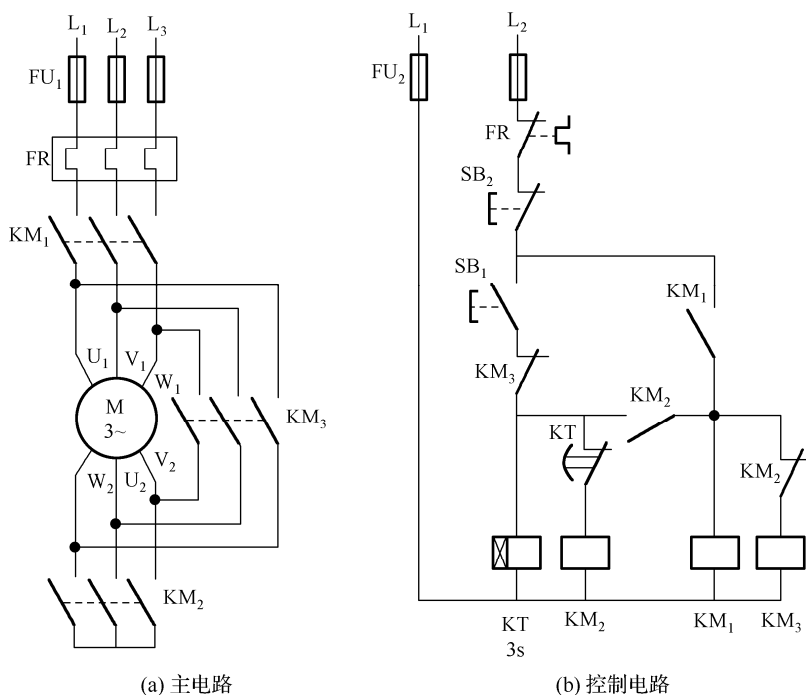


图 2-37 星形（Y形）-三角形（ $\Delta$ 形）降压启动控制电路

控制过程：按下按钮  $SB_1$  → 时间继电器  $KT$  得电，其常闭触点延时动作 → 接触器  $KM_2$  得电（常闭触点断开，常开触点闭合） → 接触器  $KM_1$  得电 → 定子绕组接成星形（Y形）连接，即降压启动 → 3s（停留） → 时间继电器常闭触点  $KT$  动作（断开） → 接触器  $KM_2$  失电（所有触点复位） → 接触器  $KM_3$  得电 → 定子绕组接成三角形（ $\Delta$ 形）连接，即启动结束，全压运行。

## 2) 正反转

换向控制利用位置开关使机械运动的行程或位置受到限制或使机械运动在一定范围内自动往返。

## 3) 制动

电动机在切断电源后，由于转子有惯性作用而不会立即停止转动，这将影响到停止时间及准确定位，因此需要对电动机进行制动（即强迫电动机立即停止）。

反接制动控制电路如图 2-38 所示。

控制过程：按下按钮  $SB_1$  → 接触器  $KM_1$  得电 → 电动机  $M$  启动、运行工作；当转子转速上升至  $120r/min$  时 → 速度继电器  $KS$  动作 → 其常开触点闭合（为制动作准备）。若按下按钮  $SB_2$ ，其常闭触点断开使接触器  $KM_1$  失电，而常开触点闭合使接触器  $KM_2$  得电 → 三相电源反相通过限流电阻  $R$  使电动机  $M$  立即制动 → 转子转速迅速下降为零。当转速下降至  $100r/min$  时，速度继电器  $KS$  常开触点复位（断开），制动结束。

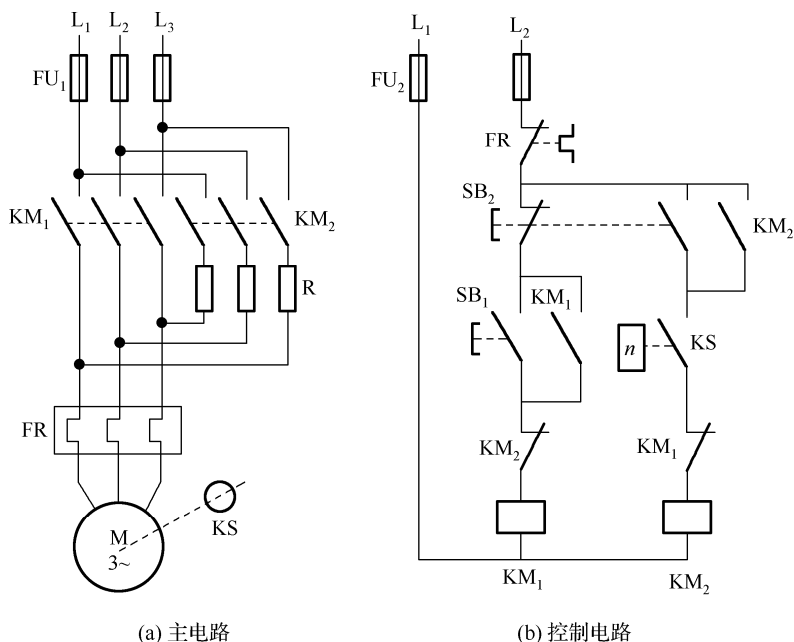


图 2-38 反接制动控制电路

## 训练项目 2：三相交流异步电动机的自动往返控制

### 1. 训练目的

进一步掌握继电器-接触器控制技术,提高控制电路的阅读能力,熟悉各种电气元件(如接触器、热继电器、熔断器、位置开关、按钮开关等)的应用,掌握安装的技巧,学会使用仪表检测电路,为维护、维修做好准备。

### 2. 训练内容

三相交流异步电动机的自动往返控制。

三相交流异步电动机控制工作台直线运动(即前进或后退),通过工作台上的撞块 A 碰撞位置开关实现自动往返控制。控制过程如图 2-39 所示。

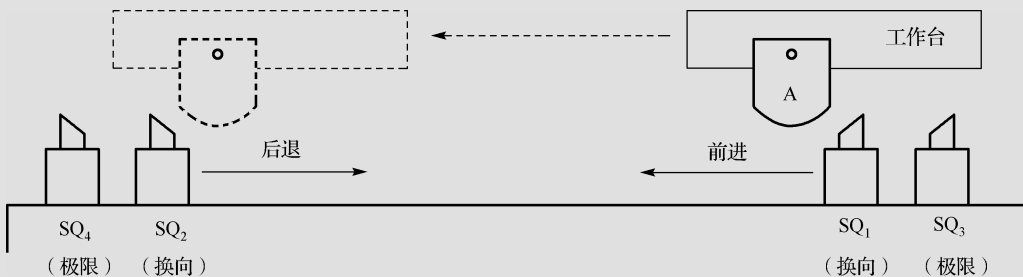


图 2-39 自动往返控制过程示意图

### 3. 设备、材料

设备、材料清单如表 2-1 所示。



表 2-1 设备、材料清单

名 称	电 路 符 号	规格 (参考)	数 量
自动空气开关	QS	C45 或 DZ47	1 只
熔断器	FU	RL6-15/3	2 只
热继电器	FR	JR16-20/3	1 只
交流接触器	KM <sub>1</sub> 、KM <sub>2</sub>	CJ10-10 380V	2 只
按钮开关	SB <sub>1</sub> 、SB <sub>2</sub>	LA 系列	2 只
位置开关	SQ <sub>1</sub> ~SQ <sub>4</sub>	LX19 系列	4 只
三相交流异步电动机	M	小型 380V	1 只
三相交流电源	L <sub>1</sub> 、L <sub>2</sub> 、L <sub>3</sub>	380V	
绝缘导线		1mm <sup>2</sup> 、单支 (单股)	若干
万用表			1 只
常用电工工具			1 套

#### 4. 训练步骤

- (1) 熟悉各电气元件及安装位置。
- (2) 试画出自动往返控制电路。
- (3) 根据画出的自动往返控制电路在图 2-40 中绘制安装 (布线) 图。
- (4) 根据安装 (布线) 图连接控制电路。
- (5) 连接控制电路完毕, 应使用万用表检查无误。
- (6) 在指导老师的指导下, 接通电源。
- (7) 操作按钮开关启动, 再分别操作位置开关 (模仿工作台的运动而碰撞), 观察两交流接触器的动作。
- (8) 操作按钮开关结束工作, 清理工作位置, 归还材料、工具等。

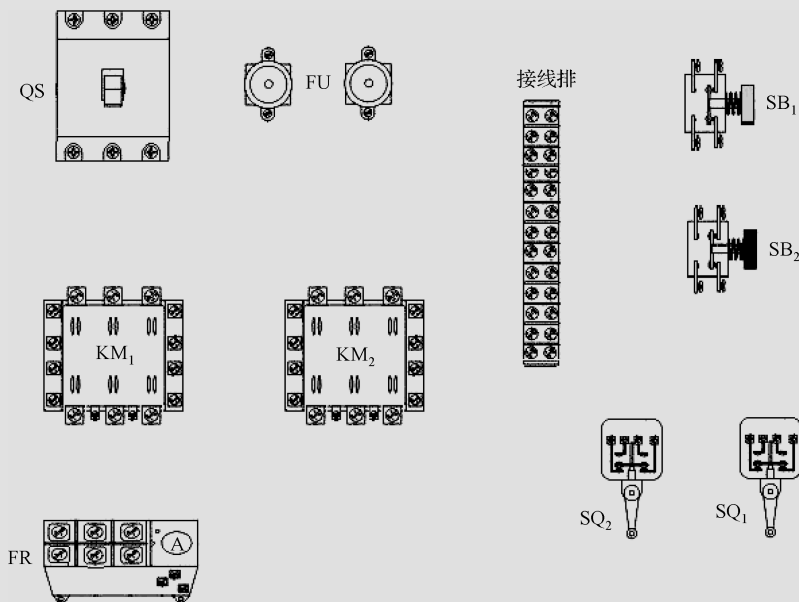


图 2-40 实物安装图 (控制电路)

## 5. 思考

为什么行程中设置两个极限位置开关（即  $SQ_3$ 、 $SQ_4$ ）？

## 3. 调速控制

从转速表达式  $n_1 = 60f_1/p$  可知，改变磁极对数  $p$  或改变频率  $f_1$  都可实现电动机转速的改变（即调速）。

### 1) 变磁极对数

当频率  $f_1$  不变时，转子的转速  $n_1$  与磁极对数  $p$  成反比。因此，在多速电动机中，通过改变定子绕组的连接方法来改变磁极对数。但这种调速方法属于有级调速，制作复杂，其控制电路也相对复杂，所以多速电动机一般只有双速、三速。

Y/双Y接法（双速变换）示意图如图 2-41 所示。将  $U_2$ 、 $V_2$ 、 $W_2$  端悬空，U、V、W 端接电源，绕组呈Y形，则电动机为四极（ $p=2$ ），低速运行。将 U、V、W 端短接， $U_2$ 、 $V_2$ 、 $W_2$  端接电源，绕组呈YY形（即双Y），则电动机为二极（ $p=1$ ），高速运行。

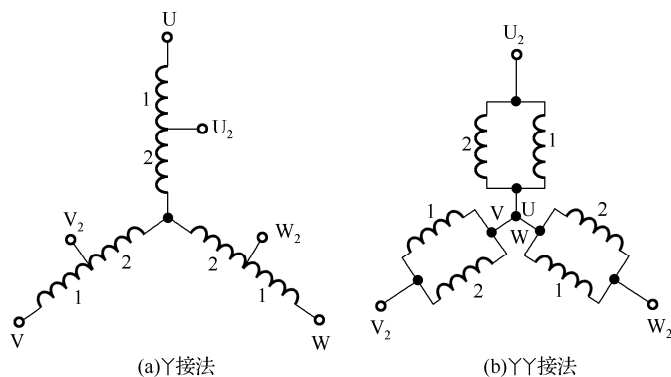


图 2-41 Y/双Y接法（双速变换）

$\Delta$ /双Y接法（双速变换）示意图如图 2-42 所示。将  $U_2$ 、 $V_2$ 、 $W_2$  端悬空，U、V、W 端接电源，绕组呈 $\Delta$ 形，则电动机为四极（ $p=2$ ），低速运行。将 U、V、W 端短接， $U_2$ 、 $V_2$ 、 $W_2$  端接电源，绕组呈YY形（双Y），则电动机为二极（ $p=1$ ），高速运行。

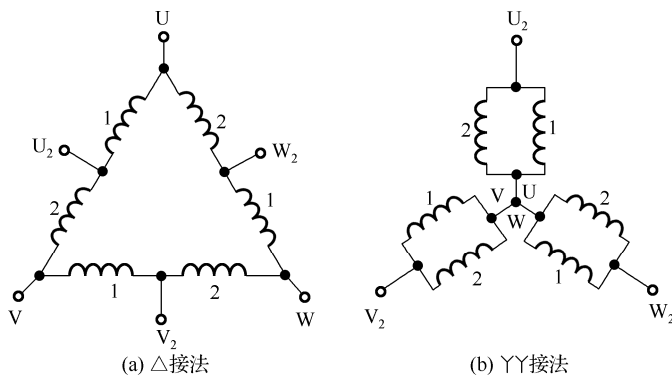
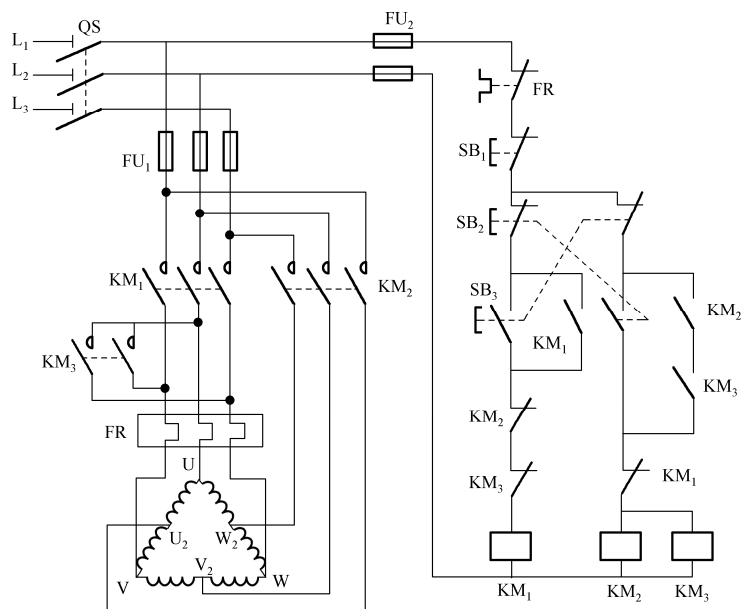


图 2-42  $\Delta$ /双Y接法（双速变换）

如图 2-43 所示为  $\Delta$ /双Y接法（双速变换）的双速电动机电路图。电路的工作原理可自行分析。

图 2-43  $\Delta$ /双Y接法的双速电动机电路图

## 2) 变频率

当磁极对数  $p$  不变时, 转子的转速  $n_1$  与频率  $f_1$  成正比。因此, 若连续改变电源频率, 就可以实现连续、平滑地调节电动机的转速, 即实现无级调速。变频调速现广泛应用, 已成为异步电动机最主要的调速方法。

变频器是一种将固定频率 (50Hz) 的交流电变换成频率、电压均可连续调节的交流电, 以实现对电动机速度控制的装置。各种变频器外形如图 2-44 所示。



(a) 三菱变频器



(b) 日立变频器

(c) 西门子变频器

图 2-44 各种变频器的外形

通过对变频器的操作（编程）可实现对交流异步电动机的基本控制（如正反转、升降速等）、多段速度的设置、加减速时间的设定、电动机转矩的提升、瞬时断电后自动启动、自动记录故障等功能，还具有瞬时过电流（短路）保护、过载保护、瞬时停电保护、冷却风机异常（过热）保护、再生过电压保护等多种对变频器及电动机的保护。

由于变频器的种类比较多，且同一公司（厂家）的不同系列变频器的操作也不相同，如图 2-45 所示，因此在使用时应仔细阅读变频器的使用手册。



图 2-45 三菱变频器的操作面板

## 训练项目 3：交流异步电动机的变频调速控制

### 1. 训练目的

掌握变频控制技术，熟悉变频器的使用，掌握变频器操作面板的各键操作及其功能，初步学会变频调速方法（基本指令的应用）。

### 2. 训练内容

交流异步电动机的变频调速控制。

### 3. 设备、材料

设备、材料清单如表 2-2 所示。

表 2-2 设备、材料清单

名 称	电 路 符 号	规格（参考）	数 量
自动空气开关	QS	C45 或 DZ47	1 只
变频器		三菱 FR-A500	1 只
三相交流异步电动机	M	小型 380V	1 只
三相交流电源	L <sub>1</sub> 、L <sub>2</sub> 、L <sub>3</sub>	380V	
绝缘导线		0.75~1mm <sup>2</sup> 、多股（三芯）电缆	若干
常用电工工具			1 套

### 4. 训练步骤

（1）熟悉三菱 FR-A500 变频器及其操作面板（FR-DU04）、各键功能。操作面板（FR-DU04）如图 2-46 所示。

（2）按图 2-47 连接变频器端子与电源、电动机。

（3）确认连接无误，合上空气开关，接通电源，电源指示灯亮，操作面板（FR-DU04）显示正确数据。



操作面板 (FR-DU04)

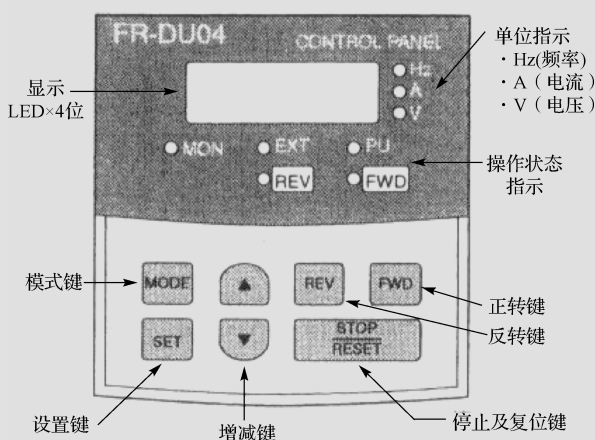


图 2-46 操作面板 (FR-DU04)

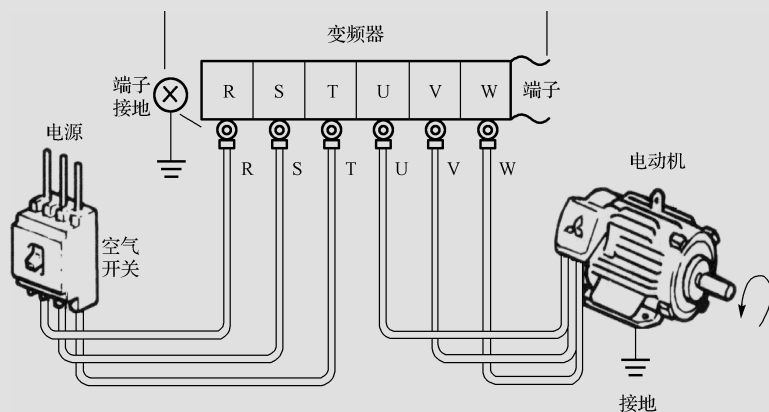


图 2-47 变频器与电源、电动机的连接

(4) 按模式键(选择运行模式), 显示“OP.nd”, 按增减键(选择操作模式), 显示“PU”及操作状态指示灯 PU 亮。

(5) 按模式键(选择频率设定模式), 显示“50.00”(可通过增减键设定)及单位指示灯 Hz 亮, 按设置键确认。

(6) 按正转键或反转键, 观察电动机的转动及方向, 面板显示输出频率。

(7) 重复步骤(5)和(6)可改变电动机的运转速度和电源输出频率。

(8) 按停止及复位键→电动机减速、停止。

(9) 结束工作, 清理工作位置, 归还材料、工具等。

## 5. 思考

试比较两种调速方式(变磁极对数和变频率)的特点。

## 2.2.2 单相交流电动机的控制

### 1. 类型及启动

单相交流电动机是指单相交流电源供电的异步电动机。单相交流电动机的结构与三相

笼形异步电动机的结构相似；转子一般采用笼形转子结构，定子绕组只有一个绕组（主绕组、工作绕组）或两套绕组（其中一套为辅助绕组，又称副绕组、启动绕组）。根据启动方式与相应的结构不同，单相交流电动机可分为分相启动式和罩极启动式两种类型。

## 1) 分相启动式

分相启动式电动机在定子铁芯的线槽中安放了一套与主绕组  $U_1$ 、 $U_2$  在空间互差  $90^\circ$  的绕组  $V_1$ 、 $V_2$ ，称为副绕组或启动绕组。

通过电阻  $R$  或电容  $C$  从单相交流电中获得具有相位差的两相电流，并在两套绕组上形成旋转磁场，从而产生启动转矩。因此，称为电阻分相启动式或电容分相启动式，如图 2-48 所示。

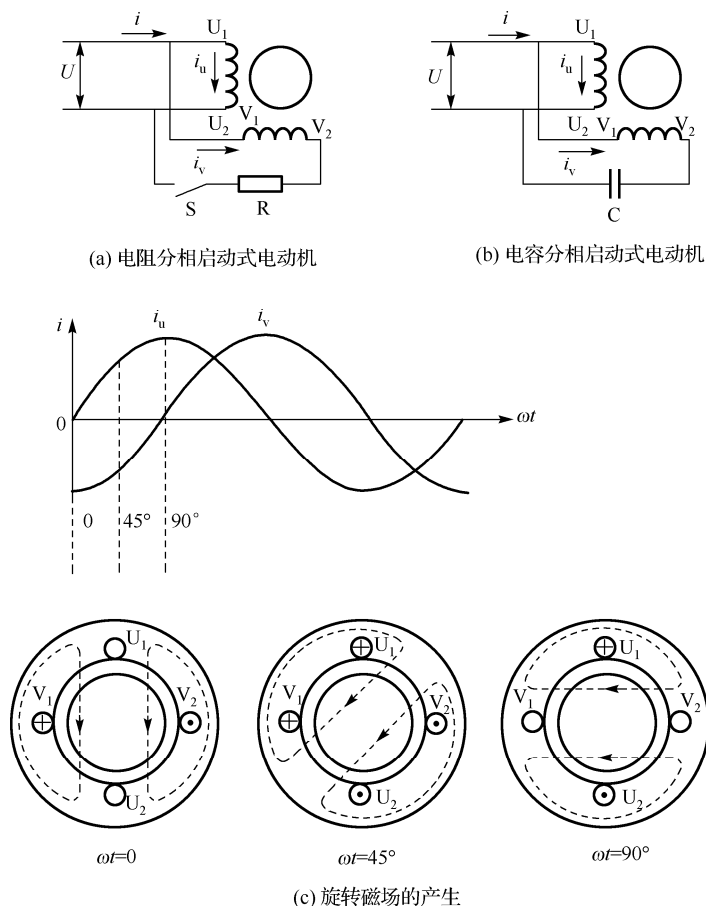


图 2-48 单相交流电动机的旋转磁场

## 2) 罩极启动式

罩极启动式电动机在定子铁芯的线槽中只安放了主绕组，而在凸极铁芯上开槽并嵌套短路铜环（起到启动绕组的作用），同样可形成旋转磁场，获得启动转矩，如图 2-49 所示。

## 2.调速

单相交流电动机常用的调速方法有改变定子绕组的匝数比、附加电抗器、电子调速器等。



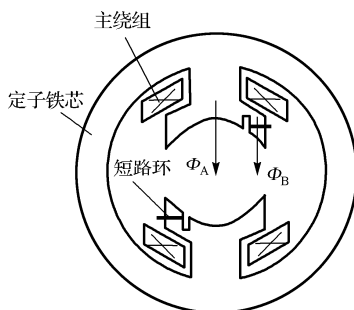


图 2-49 罩极启动式电动机结构示意图

### 【例 2-6】电风扇的调速

电风扇分为：台扇、吊扇、转页扇（鸿运扇）、壁扇、落地扇等。电风扇通常采用电容启动（运转）式的单相交流电动机。

转页扇（鸿运扇）、壁扇、落地扇通常采用改变定子绕组的匝数比的方法来实现转速的改变（即调速）。适用于近距离控制，如图 2-50（a）所示。

台扇通常采用附加电抗器或电子调速器的方法来实现转速的改变。适用于远距离控制，如图 2-50（b）、（c）所示。

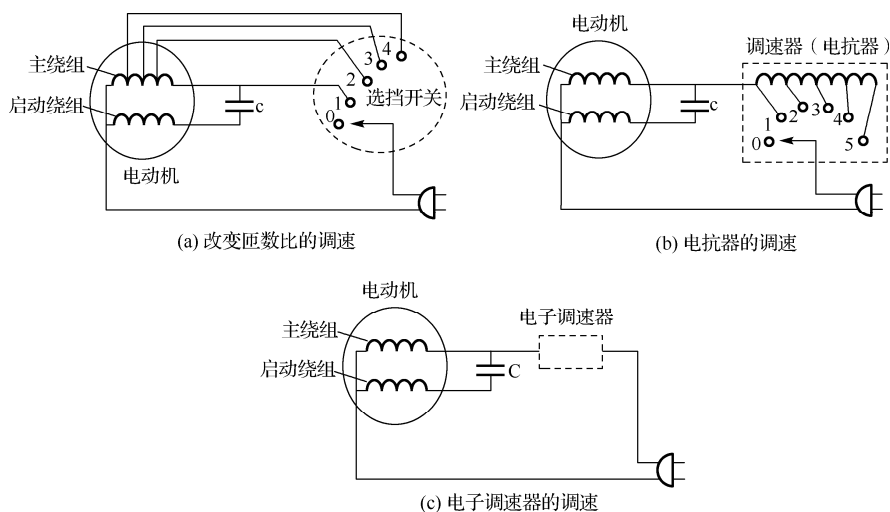


图 2-50 电风扇调速控制

### 3. 换向

单相交流电动机的换向只适用于分相启动式，罩极启动式是无法改变电动机的转动方向的。单相交流电动机的正反转控制如图 2-51 所示。

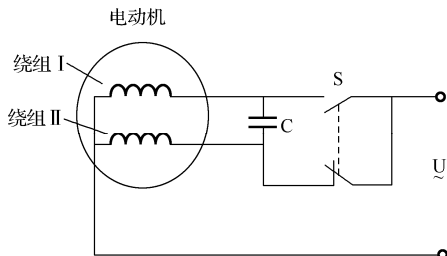


图 2-51 单相交流电动机的正反转控制



## 2.3 直流电动机的控制

直流电动机是使用和依靠直流电驱动的电动机。由于直流电动机具有较大的启动力矩和良好的调速性能等，容易实现各种运行状态的自动控制，因此应用广泛。

### 2.3.1 直流电动机

直流电动机是由定子（包括定子铁芯、励磁绕组或主磁极、电刷装置、机座等部件）、电枢（包括电枢铁芯、电枢绕组、换向器、转轴等部件）两大部分组成的。直流电动机的结构及电路符号如图 2-52 所示。

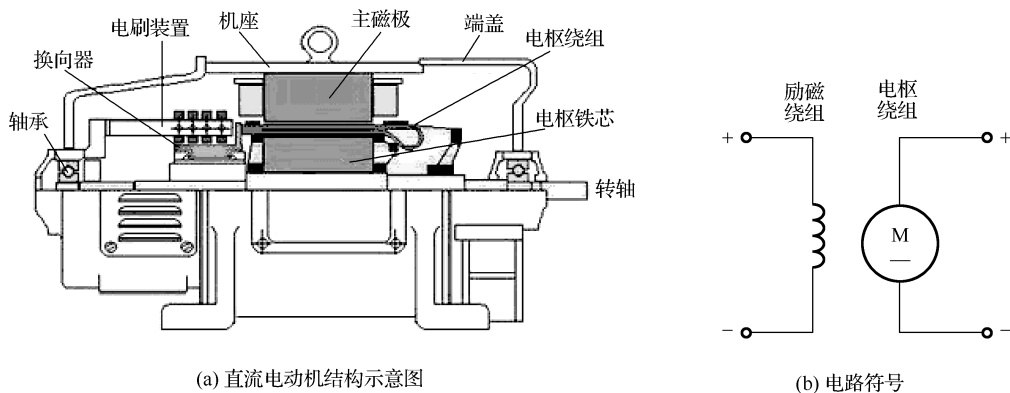


图 2-52 直流电动机的结构及电路符号

直流电动机按励磁方式可分为永磁式、他励式、自励式等；自励式又可分为并励式、串励式和复励式。按电刷装置可分为有刷式和无刷式。比较常用的有永磁式、他励式、并励式等几种直流电动机。

#### 1. 永磁式直流电动机

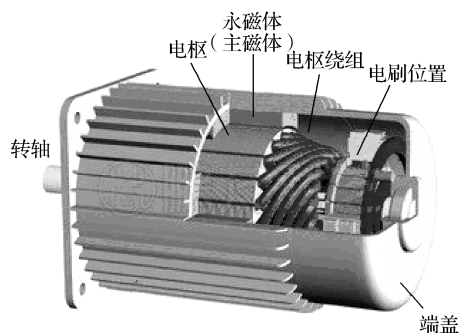
主磁极采用永久磁体（永久磁铁），主要应用于各种小型或小容量的直流电动机。永磁式直流电动机的结构如图 2-53（a）所示。

#### 2. 他励式直流电动机

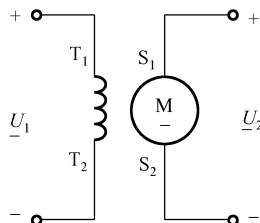
励磁绕组与电枢绕组无连接关系，即励磁绕组与电枢绕组没有电的联系，两个绕组分别由各自的直流电源供给，因此励磁电流不受电枢端电压或电枢电流的影响。他励式直流电动机电路如图 2-53（b）所示。

#### 3. 并励式直流电动机

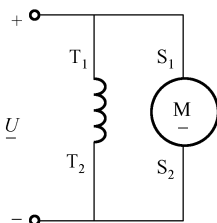
励磁绕组  $T_1$ 、 $T_2$  与电枢绕组  $S_1$ 、 $S_2$  是并联关系，因而励磁绕组与电枢绕组可共用同一电源。两个绕组的端电压相同，但励磁绕组一般采用细导线绕制且匝数较多，因此具有较大的电阻，使得通过励磁绕组的励磁电流较小。其性能上与他励式直流电动机相同。并励式直流电动机电路如图 2-53（c）所示。



(a) 永磁式直流电动机的结构



(b) 他励式直流电动机电路

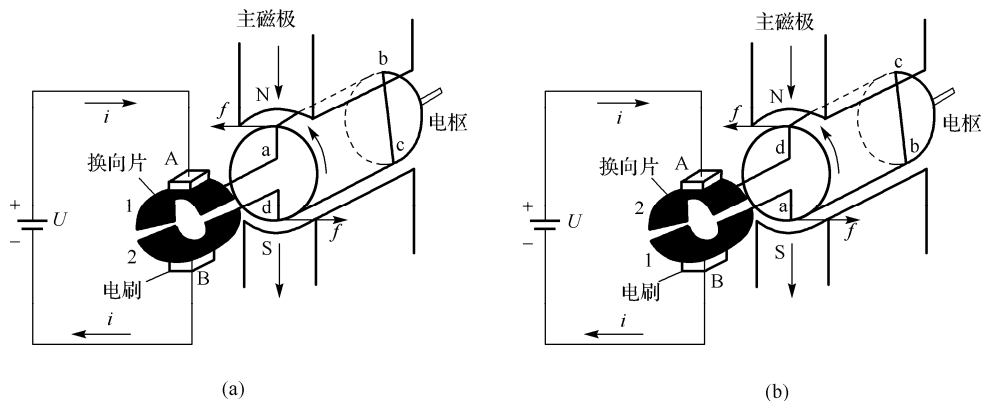


(c) 并励式直流电动机电路

图 2-53 几种常用的直流电动机

### 2.3.2 基本原理

直流电动机（永磁式）工作原理如图 2-54 所示。



(a)

(b)

图 2-54 直流电动机（永磁式）工作原理

直流电动机是依据电磁力产生的定律（定理），在定子的永久磁铁磁场（主磁极）与导体中电流产生的磁场共同作用下，电枢线圈会受到电磁力  $f$  的作用，如图 2-54 所示，从而形成电磁转矩，迫使电枢（电动机）旋转。再通过换向器的换向片与电刷的作用，将电刷间的直流电转变为通入电枢线圈内的交变电流，即由于转动使流过电枢线圈的电流方向发生改变，从而确保直流电动机沿着恒定的方向旋转。因而，换向器也称为整流子，它是直流电动机中实现改变电流方向的重要部件。

### 2.3.3 基本控制

#### 1. 启动

由于启动电流过大，因此直流电动机是不允许全压直接启动的，为限制启动电流，可采用电枢回路串电阻或减压的启动方法。

电枢回路串电阻启动即在电枢回路中串接一组启动电阻  $R$ ，如图 2-55 (a) 所示。启动时全组电阻接入，以限制启动电流；随转速上升，逐步分段减小电阻；启动结束，将电阻全部切除（即短接）。

减压启动在启动时暂时将电源电压降低，使启动电流减小，因此需要由可变电电压的直流电源供给。通常采用晶闸管整流装置，如图 2-55 (b) 所示。

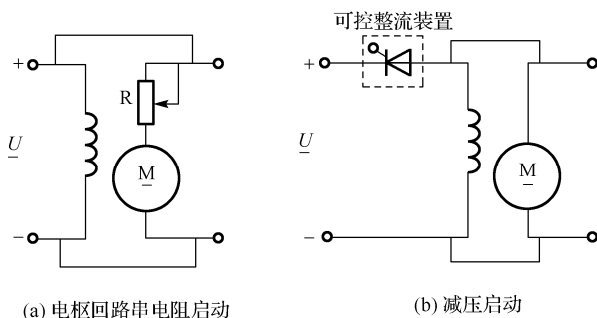


图 2-55 直流电动机的启动控制

## 2. 正反转

由于直流电动机的电磁转矩是由主磁极磁通和电枢绕组电流的相互作用产生的，因此只要改变两者之一，即可改变电磁转矩的方向（或直流电动机的旋转方向），为此可采取改变励磁绕组反接（即改变主磁极磁通方向）或改变电枢绕组反接（即改变电枢电流方向）的方法，实现直流电动机的正反转控制。

在实际中，由于采用改变励磁绕组反接的方法，反向过程的建立缓慢，所以直流电动机的转向改变一般采用改变电枢绕组反接的方法，即改变电枢电流方向或改变电枢电压的极性，如图 2-56 所示。

## 3. 制动

制动是在直流电动机内产生一个与旋转方向相反的电磁转矩，以加快直流电动机的停止。制动方法有能耗制动、反接制动、回馈制动等三种，比较简单而常用的方法为能耗制动，如图 2-57 所示。直流电动机停止时，保持励磁绕组的电压，并使继电器  $KA_0$  得电动作（断开常闭触点，闭合常开触点），则制动电阻  $R_0$  并接于电枢绕组两端。利用电枢在惯性作用下仍转动的特点，产生感应电流，该电流方向与原电流方向相反，因此产生的转矩方向也随之改变，形成制动转矩，迫使电动机迅速停止。

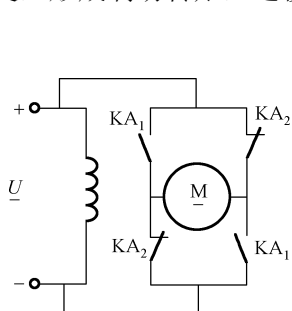


图 2-56 直流电动机的正反转控制

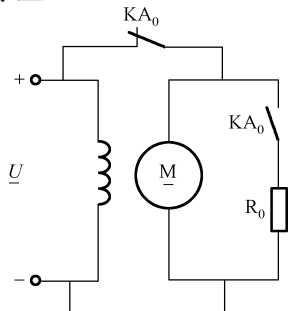


图 2-57 直流电动机的能耗制动

## 2.3.4 调速

直流电动机有电枢回路串电阻调速、改变励磁磁通调速、改变电枢电压调速三种方法。



电枢回路串电阻调速是在直流电动机的电枢回路中串接调速电阻  $R_s$ ，通过改变  $R_s$  的电阻值实现转速的改变，如图 2-58 (a) 所示。这种调速方法只能在额定转速以下进行调速，调速范围较小，稳定性较差。

改变励磁磁通调速是在直流电动机的励磁回路中串接调速电阻  $R_s$ ，通过改变  $R_s$  的电阻值来改变励磁电流，即改变励磁磁通，从而实现转速的改变，如图 2-58 (b) 所示。这种调速方法是通过减弱励磁磁通实现调速的，因此只能在额定转速以上进行调速，机械特性偏软，调速范围不大。

改变电枢电压调速是由另外的可控或可调的电源装置提供给电枢绕组的，如大型设备采用直流发电机作为调速电源，组成直流发电机-直流电动机调速系统；小型设备可采用晶闸管可控整流装置作为调速电源，组成晶闸管-直流电动机调速系统，如图 2-58 (c) 所示。这种调速方法只能在额定转速以下进行调速，但不论是高速还是低速，机械特性均保持不变，稳定性高，调速范围大。

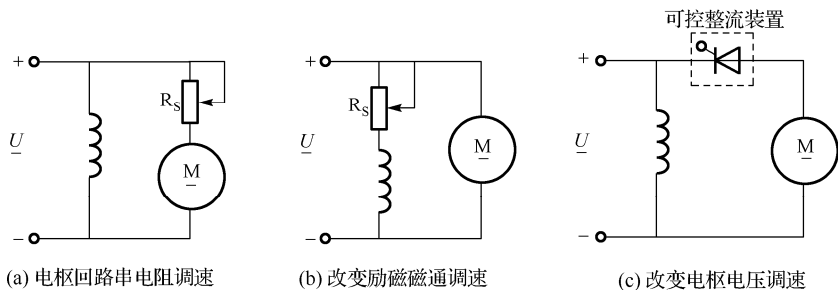


图 2-58 直流电动机的调速控制



## 2.4 特种电动机的控制

特种电动机（控制电动机）在自动控制系统中起检测元件、计算元件、执行元件等的作用。从结构和电磁感应原理来看，特种电动机与交、直流电动机没有本质上的区别，但交、直流电动机重点是研究、讨论、解决力矩方面的性能及指标，并实现机电能量的转换；而特种电动机（控制电动机）重点是研究、讨论、解决特性的精度、运行的可靠性、快速响应等方面的性能及指标，主要应用于信号的传递和转换等。因此，特种电动机（控制电动机）应具有准确度高、运行可靠、动作灵敏、质量轻、体积小等特点。

特种电动机的种类较多，比较常用的有伺服电动机、步进电动机、测速发电机、自整角机和旋转变压器等。

### 2.4.1 伺服电动机

伺服电动机在自动控制系统中作为执行元件，其作用是将输入的控制信号或控制电压转换成转轴上的角位移或角速度输出，以驱动控制对象。

伺服电动机的基本控制是只要改变控制信号或控制电压的大小和极性，就可改变伺服电动机的转速和转向。

伺服电动机分为交流伺服电动机和直流伺服电动机两大类。

## 1. 伺服电动机系统

伺服电动机系统一般由伺服驱动器和伺服电动机两部分构成，如图 2-59 所示。

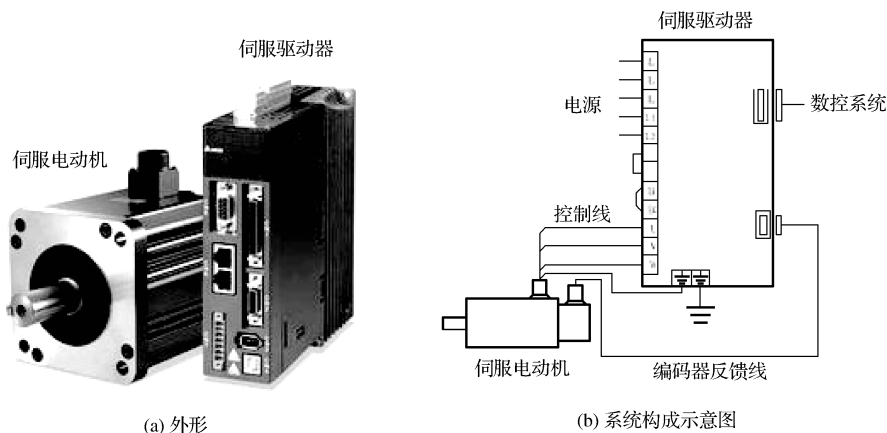


图 2-59 伺服电动机系统

## 2. 交流伺服电动机

交流伺服电动机的结构与单相异步电动机的结构相似。两套（两相）定子绕组在定子空间相差  $90^\circ$ ，一套为励磁绕组，接至交流电源；另一套为控制绕组，输入同频率的交流控制电压。为了控制灵活和减小转动惯性，转子采用细长的笼形转子或采用铝合金、紫铜等非磁性制成的空心杯转子。交流伺服电动机的结构如图 2-60 所示。

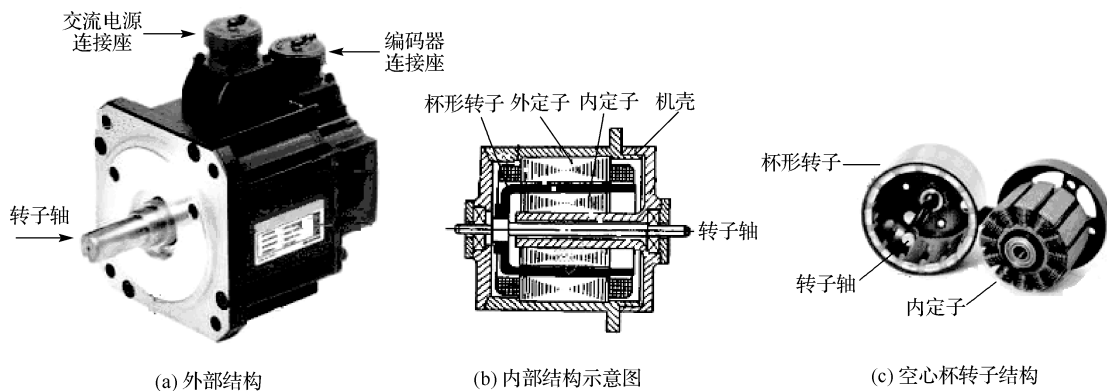


图 2-60 交流伺服电动机的结构

交流伺服电动机的工作原理与分相启动式单相异步电动机原理相似。当励磁绕组接入交流电源、控制绕组通过从伺服驱动器输送来的控制电压时，两绕组相差  $90^\circ$ ，根据电磁感应原理，在气隙中将产生一个圆形的旋转磁场，使转子转动起来，即电动机旋转，如图 2-61 所示。一旦控制电压为零或控制信号消失，将使转子转速迅速下降并停止转动。

## 3. 直流伺服电动机

直流伺服电动机按励磁方式的不同，可分为他励式和永磁式两种，其结构与他励式和永磁式直流电动机相同，即实际上就是微型的他励式和永磁式直流电动机，区别是为减小



转动惯性，转子做得细而长。另外，由于伺服电动机的电枢电流很小，所以结构更简单。直流伺服电动机及伺服驱动器如图 2-62 所示。

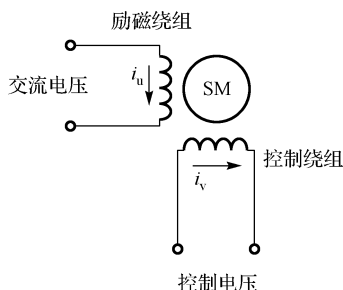


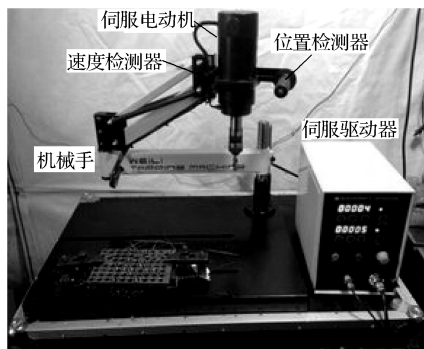
图 2-61 交流伺服电动机的工作原理



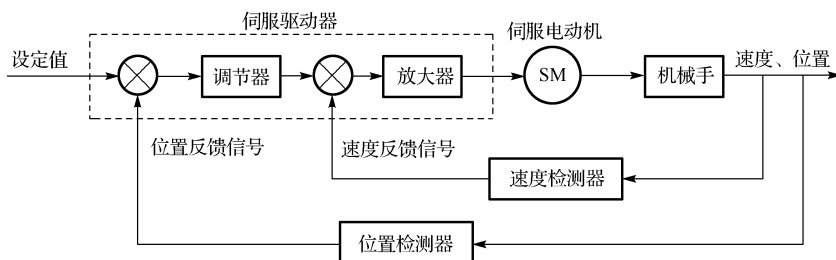
图 2-62 直流伺服电动机及伺服驱动器

### 【例 2-7】机械手运动——速度、位置检测控制

如图 2-63 所示为机械手运动（移动）的速度、位置检测控制的实物图和方框图。当机械手运动时，其速度、位置（均为机械运动）都通过各自的检测器转换成相应的电信号反馈回伺服驱动器内与设定值相比较。若差值大于或小于零，则说明速度、位置不符合要求，伺服驱动器输出信号，控制伺服电动机进行调整。例如，机械手运行速度过快，速度检测器将速度过快量转变为电信号增量并反馈到驱动器内与设定值比较，得到差值小于零，驱动器将减小输出电压（控制电压），从而使伺服电动机速度降低。只有当差值为零时，才说明速度、位置符合要求。又例如，当机械手运动到预定位置时，位置检测器也发出信号并反馈到驱动器内与设定值比较，得到差值为零，则驱动器调节输出电压（控制电压）为零，伺服电动机立即停止运动。



(a) 机械手实物图



(b) 机械手运动方框图

图 2-63 机械手运动的速度、位置检测控制

## 2.4.2 步进电动机

步进电动机在自动控制系统中作为执行元件，其作用是将电脉冲信号转换成转轴上的角位移或直线位移输出，以驱动控制对象。因此，步进电动机由专用的驱动器供给电脉冲信号，如图 2-64 所示。

步进电动机的基本控制是每输入一个脉冲，步进电动机就前进一步，步进电动机的位移与脉冲数成正比，转速或线速度与脉冲频率成正比。只要改变电信号的输送时间（频率）和次序，就可改变步进电动机的转速和转向。

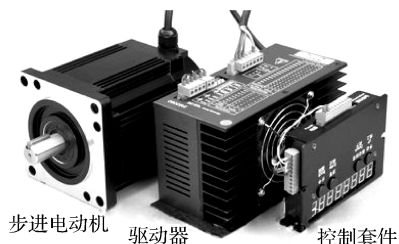


图 2-64 步进电动机及其驱动装置

### 1. 种类与工作原理

步进电动机的种类：按相数可分为单相、两相、三相及多相等；按工作原理可分为反应式、永磁式、永磁感应式等；按运动方式可分为旋转运动式、直线运动式、平面运动式等。应用较多的是三相反应式步进电动机。三相反应式步进电动机及其驱动装置的连接如图 2-65 所示。

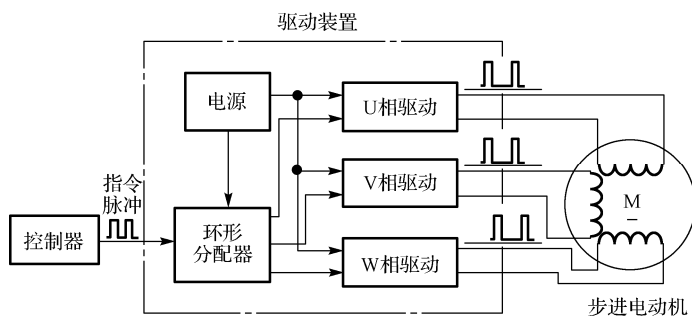
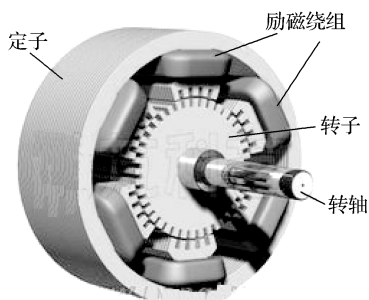


图 2-65 三相反应式步进电动机及其驱动装置的连接

三相反应式步进电动机的结构如图 2-66 所示。



(a) 实物结构



(b) 结构示意图

图 2-66 三相反应式步进电动机的结构

三相反应式步进电动机的六个凸极定子铁芯上绕有励磁绕组，每两个相对的凸极绕同一相绕组。凸极定子的圆周和转子的圆周都有许多齿，称为定子齿、转子齿。





由如图 2-67 所示的模型图可见, 当任意一相励磁绕组通电(脉冲), 而其余两相励磁绕组不通电时, 所产生的磁通通过转子齿时若发生扭曲, 将产生力矩力求恢复垂直, 从而在转子齿上形成转矩, 迫使转子转动。当磁通垂直后, 力矩为零, 转子不动。通过励磁绕组按照  $U \rightarrow V \rightarrow W \rightarrow U \rightarrow \dots$  的顺序循环供电, 则步进电动机的转子逆时针一步一步地转动, 如图 2-67 所示。若按  $U \rightarrow W \rightarrow V \rightarrow U \rightarrow \dots$  的顺序循环供电, 则步进电动机的转子就会顺时针转动, 实现转向控制。

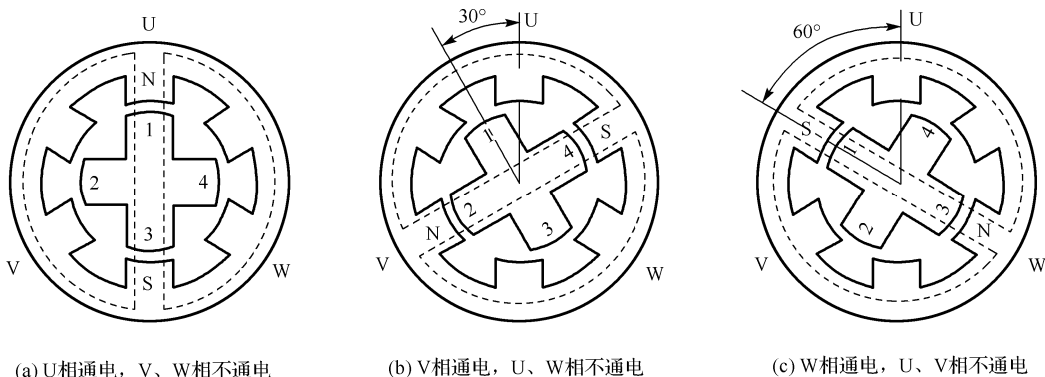


图 2-67 三相反应式步进电动机模型图

## 2. 运行方式

上述三相绕组依次通电的运行方式称为三相单三拍运行。其中“三相”是指励磁绕组为三个; “单”是指每次只有一个绕组通电; “三拍”是指每个循环共有三次转换或切换。由于图 2-67 的步进电动机步距角较大( $30^\circ$ ), 若采用三相双三拍(通电顺序为  $UV \rightarrow VW \rightarrow WU \rightarrow UV \rightarrow \dots$ )或三相六拍(通电顺序为  $U \rightarrow UV \rightarrow V \rightarrow VW \rightarrow W \rightarrow WU \rightarrow U \rightarrow \dots$ )的运行方式, 则步距角可减小一半( $15^\circ$ ), 但仍很难满足精度高的小位移量的要求。因此, 在实际应用中, 为减小步距角, 步进电动机都采用多个转子齿及相当数量的定子齿结构, 如图 2-66 所示。

步进电动机的转速  $n$  和步距角  $Q_b$  与转子齿  $Z_R$ 、拍数  $N$  有关, 即有

$$Q_b = \frac{360^\circ}{N \cdot Z_R} \quad (2-3)$$

$$N = \frac{60f}{N \cdot Z_R} \quad (2-4)$$

式中,  $N$  为排数;  $Z_R$  为转子齿数;  $f$  为脉冲频率。

### 【例 2-8】机械滑台的运动

步进电动机的转速和步距角都不受电压和负载变化的影响, 也不受环境条件的限制, 仅与脉冲频率、拍数、转子齿数有关, 所以广泛应用于高精度的自动控制系统中。如图 2-68 所示为机械滑台。

机械滑台在高精度的机械设备中可作为承载负载的部件, 在床身上做纵向运动, 因其通过螺杆传动, 再加上变速箱的作用, 所以可获得快慢等多种运行速度, 如机械手在

滑台上随着运行等。步进电动机每转动一步或一个角度，螺杆就转动一下，滑台跟着前进或后退一步。通过步进电动机的控制使滑台做微小的移动，从而使负载做高精度的加工等工作。

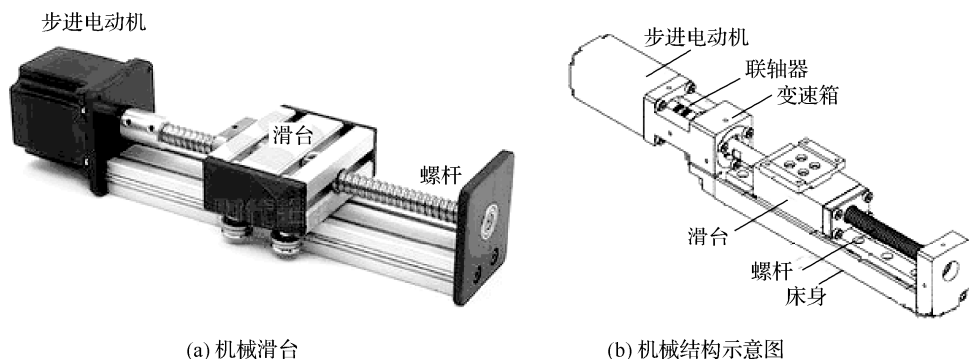


图 2-68 机械滑台

## 2.4.3 测速发电机

测速发电机在自动控制系统中作为检测元件，其作用是将机械转速或机械旋转量转换为相应的电压信号输出。如图 2-69 所示的直流电动机为被测设备或被测物，其一端转子轴与测速发电机同轴相连，通过测速发电机测量直流电动机的转速。

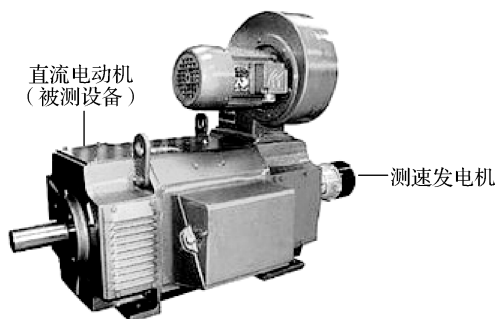


图 2-69 测速发电机的应用

测速发电机按输出电压的不同，分为交流测速发电机和直流测速发电机两大类。

### 1. 交流测速发电机

在自动控制系统中，交流异步测速发电机是常用的交流测速发电机。

交流异步测速发电机的结构与交流伺服电动机的结构相似。定子放置互差  $90^\circ$  的两套（两相）绕组，一套为励磁绕组，接至交流电源；另一套为输出绕组，用于输出电压信号。转子采用转动惯量较小的非磁性制成的空心杯转子。

交流异步测速发电机的原理如图 2-70 所示。当频率为  $f$  的交流电压  $U_1$  加至励磁绕组  $N_1$  后，励磁绕组  $N_1$  中就有电流  $i_1$ ，产生一个与励磁绕组  $N_1$  同方向的磁通（称脉振磁通） $\Phi_1$ ；该脉振磁通  $\Phi_1$  穿过空心杯转子，但与输出绕组  $N_2$  没有交链，故当转子静止时，输出绕组  $N_2$  不产生感应电动势。即  $n=0$  时， $U_2=0$ ，如图 2-70 (a) 所示。



当转子在外力（被测物）作用下以转速  $n$  旋转时，空心杯转子因切割脉振磁通  $\Phi_1$  而产生感应电流及磁通（称交轴磁通） $\Phi_2$ ，该交轴磁通  $\Phi_2$  与输出绕组  $N_2$  交链，因此在输出绕组  $N_2$  中感应出输出电压  $U_2$ 。即  $n \neq 0$  时， $U_2 \neq 0$ ，如图 2-70（b）所示。

由于交轴磁通  $\Phi_2$  与转速  $n$  成正比，所以输出电压  $U_2$  也与转速  $n$  成正比，即转速  $n$  越快，输出电压  $U_2$  越高，实现了将机械转速或机械旋转量变换为相应的电压信号输出。另外，当转子反转时，输出电压  $U_2$  的相位也跟着反相。

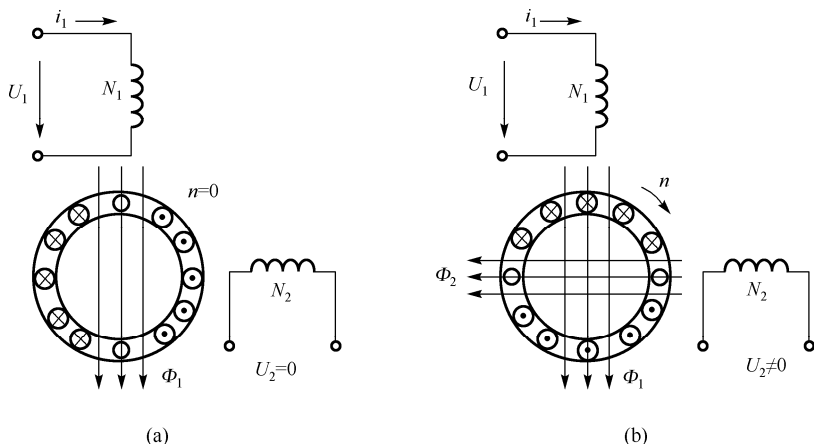


图 2-70 交流异步测速发电机的原理

## 2. 直流测速发电机

直流测速发电机的结构与直流电动机的结构基本相同，它的实质就是一台微型的直流发电机。按励磁方式分为永磁式和电磁式两种。永磁式的定子是永磁体，不需要励磁绕组和电源。图 2-71 为电磁式直流测速发电机的原理图。

当测速发电机工作时，励磁绕组  $N_1$  接上直流电源  $U_1$ ，通以直流电流  $i_1$ ，建立一个恒定磁场，该恒定磁场的磁通  $\Phi$  穿过转子。当转子的转轴与同轴相连的被测设备（如图 2-69 所示的直流电动机）以转速  $n$  带动旋转时，电枢绕组也以同样的转速  $n$  转动而切割恒定磁场的磁通  $\Phi$ ，因此电枢绕组就产生了输出电压  $U_2$ 。输出电压  $U_2$  与转速  $n$  成正比，即转速  $n$  越快，输出电压  $U_2$  越高。若被测设备转向发生变化，则输出电压  $U_2$  的极性也会跟着发生变化。

### 【例 2-9】恒速系统——恒速秤

恒速秤主要应用于建材、冶金、化工、粮食等行业的散状物料的配料和计量，是一种自动化控制设备，也是实现自动化控制、稳定产品质量的理想计量设备。

如图 2-72 所示为恒速秤及其控制系统。从图中可见，来自输送带上物料的重量信号和皮带运行的速度信号一同传送到控制器，控制器自动计算出物料的瞬时流量和物料的累计产量。通过连续不断地比较设定流量与皮带实际输送的物料流量，利过电动机拖动不停地调节皮带运行的速度，使物料流量总能稳定在设定流量上。

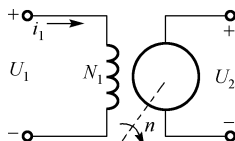


图 2-71 电磁式直流测速发电机的原理图

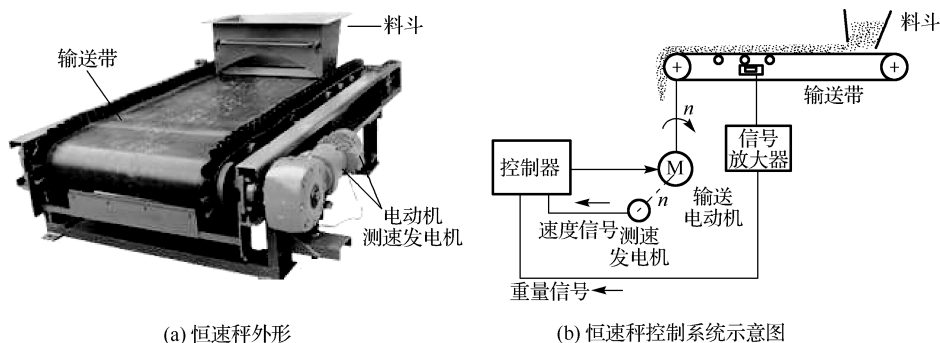


图 2-72 恒速秤及其控制系统

## 2.4.4 自整角机与旋转变压器

### 1. 自整角机

自整角机是一种将角位移的偏差进行自动调整的小型电动机。在实际中，通常两台或多台自整角机同时使用。在控制系统中，产生信号一方所用的自整角机称为发送机，接收信号一方所用的自整角机称为接收机。双方通过电路的联系，使机械上互不相连的两根或多根转轴自动地保持相同的转角变化或同步旋转，称为自整步特性。工作时，发送机与系统主令轴相连，接收机与负载相连。若主令轴拖动发送机转过一个角度  $\theta_1$ ，而接收机所处角度为  $\theta_2$ ，由于两者角度不同，通过电路（相序相同、均接成星形连接的各相绕组分别连接成回路，并接在同一个交流电源）的连接，使绕组中形成脉动磁场，并在转子上产生电磁转矩，迫使接收机转子转动，直到与发送机转角相同为止。即当主令轴拖动发送机转过一个角度时，接收机也会自动地跟着转过同样的角度。

自整角机按用途分为力矩式和控制式两种。如图 2-73 所示为自整角机外形。力矩式自整角机主要用于同步指示系统；控制式自整角机主要用于测量角度元件。

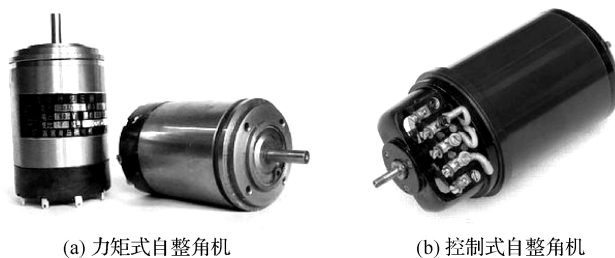


图 2-73 自整角机外形

自整角机用以实现角度信号的远距离传输、变换、接收和指示，广泛应用于冶金、航海等位置和方位同步指示系统和火炮、雷达等伺服系统中。

### 2. 旋转变压器

旋转变压器在自动控制系统中作为输出电压随转子转角变化的信号元件，其作用是将角位移转换为电信号输出。

如图 2-74 所示为旋转变压器。旋转变压器的结构与线绕式异步电动机相似。在定子、转子铁芯槽内分别嵌装两组轴线互相垂直的绕组，如图 2-74 (b) 所示。

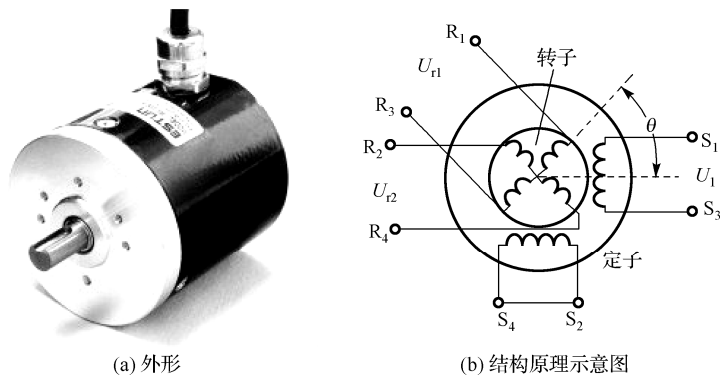


图 2-74 旋转变压器

在定子励磁绕组  $S_1$ 、 $S_2$  上加交流电压  $U_1$  后, 转子输出绕组  $R_1 \sim R_4$  中由于交链磁通的变化产生感应电压  $U_r$ , 感应电压  $U_r$  和交流励磁电压  $U_1$  之间相关联的耦合系数随转子的转角  $\theta$  而改变。因此, 根据测得的输出电压就可以知道转子转角  $\theta$  的大小。

转子两个绕组输出电压为

$$U_{r1} = KU_1 \sin \theta \quad (2-5)$$

$$U_{r2} = KU_1 \cos \theta \quad (2-6)$$

式中,  $K$  为变比。

另外, 输出绕组的电压幅值与转子转角是正弦或余弦函数关系, 或保持某一比例关系, 或在一定转角范围内与转角呈线性关系。

旋转变压器, 除在传统的、要求可靠性高的军用或航空航天领域应用以外, 在工业、交通及民用领域也得到了广泛的应用。例如, 随着世界各国环境保护措施越来越严格, 用环保型汽车替代普通燃油发动机汽车将成为今后汽车发展的主流, 目前已经出现的环保汽车有太阳能汽车、氢能源汽车、燃料电池汽车、混合动力汽车等。但是在这些车型中, 目前只有混合动力汽车具有实用推广价值。混合动力汽车的动力系统以动力传输路线分类, 可分为串联式、并联式和混联式三种方式。但不管采用何种方式, 在电动机参与传动时都需要速度反馈, 控制器接收到速度反馈信号后控制电动机驱动机构将车速稳定在目标速度, 也可以根据速度选择传动方式。另外, 驱动用电动机和发电机的位置传感、电动助力方向盘电动机的位置速度传感、燃气阀角度测量、真空室传送器角度位置测量等, 都是采用旋转变压器。因此, 作为混合动力汽车的速度反馈元件, 旋转变压器可以说是一种比较理想的选择。

### 训练项目 4：步进电动机和伺服电动机的控制

#### 1. 训练目的

掌握步进电动机、伺服电动机与驱动装置的连接, 熟悉步进电动机的正反转控制和伺服电动机速度、位置等控制方式的设置, 了解控制信号的特点。

#### 2. 训练内容

步进电动机和伺服电动机的控制。

### 3. 设备、材料

设备、材料清单如表 2-3 所示。

表 2-3 设备、材料清单

名 称	电 路 符 号	规格 (参考)	数 量
自动空气开关	QS	C45 或 DZ47	1 只
三相步进电动机			1 只
步进电动机驱动装置			1 套
信号发生器		脉冲信号	1 台
交流伺服电动机			1 只
伺服电动机驱动装置			1 套
交流电源		与交流伺服电动机额定电压配套	
绝缘导线		0.75~1mm <sup>2</sup> 、多股 (三芯) 电缆	若干
常用电工工具			1 套

### 4. 训练步骤

- (1) 正确连接步进电动机与驱动装置。
- (2) 驱动装置接通电源, 切换为手动控制方式。
- (3) 启动后观察步进电动机的旋转方向。
- (4) 关闭电源, 改变步进电动机三相励磁绕组 U、V、W 其中两相的通电顺序。
- (5) 启动后再次观察步进电动机的旋转方向。
- (6) 改变脉冲频率, 观察电动机的步速并进行比较。
- (7) 按速度控制方式正确连接伺服驱动器和伺服电动机。
- (8) 按伺服驱动器使用说明书将其设定为“JOY 模式”。启动后观察伺服电动机是否正常运行。
- (9) 关闭电源, 将伺服驱动器设置为“内部速度控制模式”, 并给定速度值。在监视器模式下, 启动伺服电动机, 观察伺服电动机的实际转速。改变速度给定值, 观察伺服电动机速度并进行比较。
- (10) 接入控制系统 (如数控系统), 设置伺服驱动器, 使之与控制系统匹配, 并设定驱动器处于“位置控制模式”和“监视器模式”。由控制系统发出运转指令, 观察伺服电动机的速度和位置偏差。
- (11) 改变指令速度, 观察速度和位置偏差的变化。
- (12) 最后结束工作, 清理工作位置, 归还材料、工具等。

### 5. 思考

试在同一坐标下绘制 CP 脉冲及 U、V、W 相的波形。



## 2.5 典型的电气设备控制

### 2.5.1 C1650 普通车床

车床是使用车刀对旋转的工件进行车削加工的机械设备。除了包括车削工件的外圆、



内圆、端面等，还可以进行切削螺纹、螺杆等定型表面的加工，并可通过钻头、铰刀等刀具对工件进行钻孔、扩孔、铰孔等加工工作。

如图 2-75 所示为 C1650 普遍车床外形图。

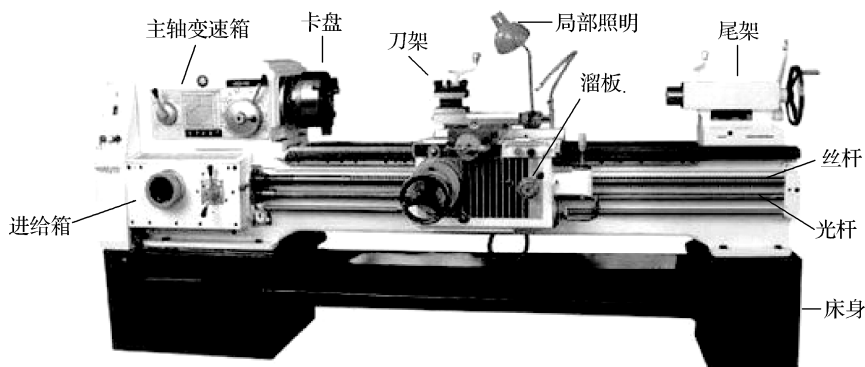


图 2-75 C1650 普遍车床外形图

C1650 普遍车床的主运动是主轴通过卡盘或尾架的顶尖带动工件的旋转运动。要求主轴具有正反转控制，为此通过电磁离合器  $YC_1$  使主轴获得正转，而通过电磁离合器  $YC_2$  获得反转。

C1650 普遍车床的进给运动是溜板（小托板）带动刀架及刀具的纵向或横向直线运动。

C1650 普遍车床的辅助运动有刀架的快速移动及工件的夹紧、放松等。

C1650 普遍车床的主电路如图 2-76 所示，控制电路如图 2-77 所示。

请自行对 C1650 普遍车床的电气控制电路进行分析。

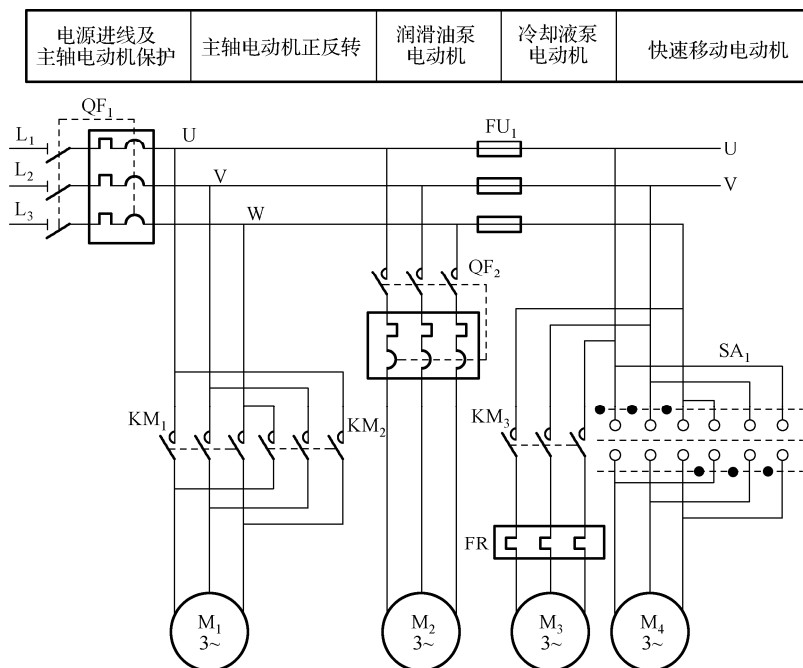


图 2-76 C1650 普遍车床的主电路

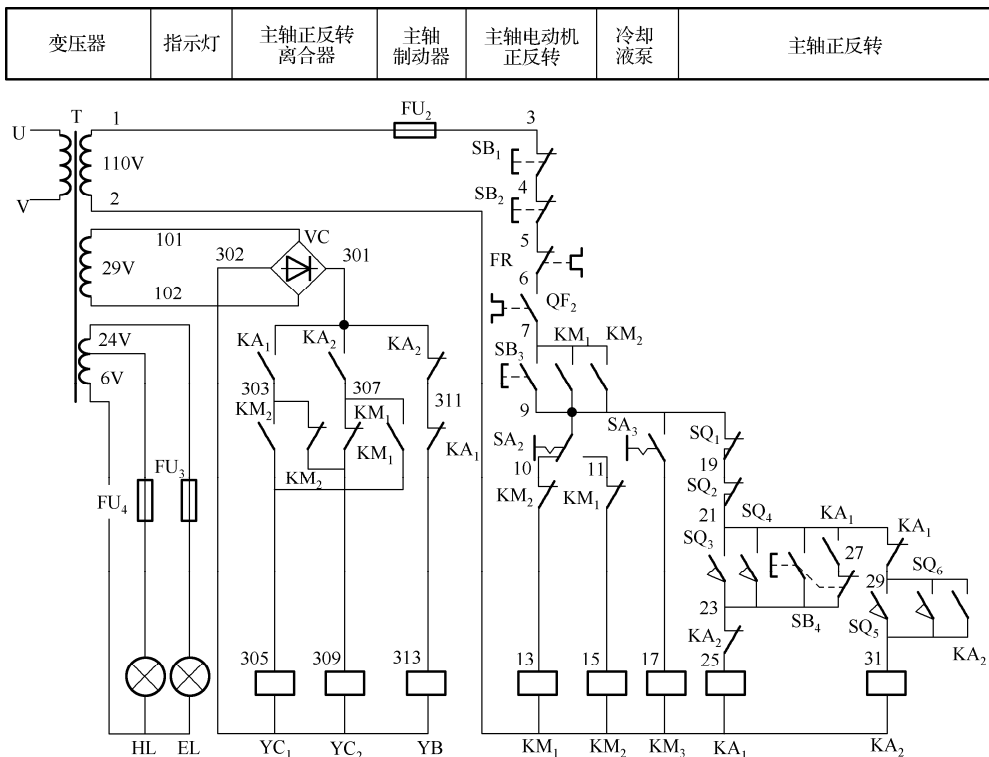


图 2-77 C1650 普通车床的控制电路

## 2.5.2 M7130 平面磨床

磨床是使用磨具和磨料（如砂轮、砂带、油石、研磨剂等）对固定的工件表面进行磨削加工的机械设备。它可以加工各种表面，如平面、内外圆柱面、圆锥面和螺旋面等。通过磨削加工，使工件的形状及表面的精度、光洁度达到预期的要求。同时，它还可以进行切断加工等加工工作。

如图 2-78 所示为 M7130 平面磨床外形图。

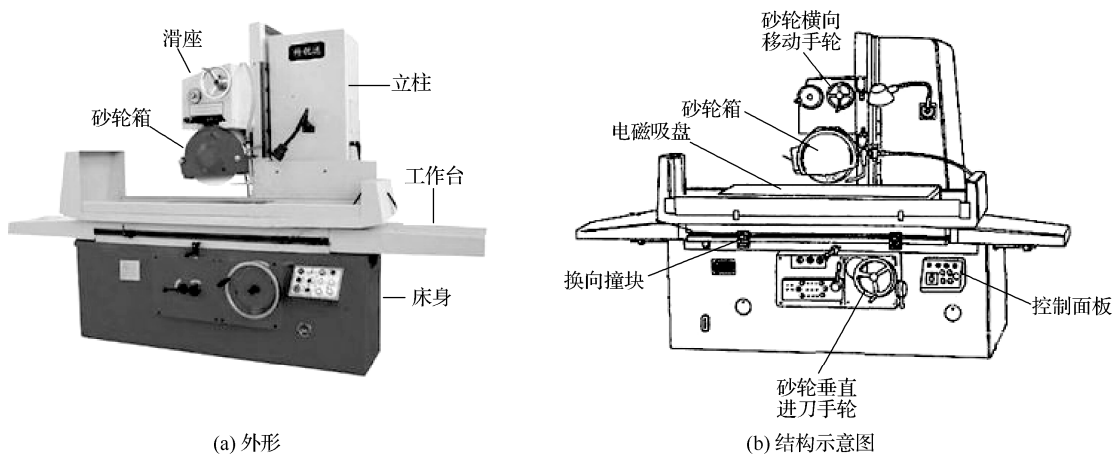


图 2-78 M7130 平面磨床外形图





M7130 平面磨床的工作台表面有 T 形槽, 可以用螺钉和压板将工件直接固定在工作台上, 也可以在工作台上装电磁吸盘, 用来吸持铁磁性的工件。砂轮与砂轮电动机均装在砂轮箱内, 砂轮直接由砂轮电动机带动旋转。砂轮箱装在滑座上, 而滑座装在立柱上。

M7130 平面磨床的主运动是砂轮的旋转运动。

M7130 平面磨床的进给运动包括工作台 (带动电磁吸盘和工件) 做纵向往复运动; 砂轮箱沿滑座上的燕尾槽做横向进给运动; 砂轮箱和滑座一起沿立柱上的导轨做垂直进给运动等, 如图 2-79 所示。

M7130 平面磨床的主要控制要求如下。

- (1) 砂轮的转速一般不需要调节, 也不需要反转, 可直接启动。
- (2) 纵向和横向进给运动一般采用液压传动, 需要由液压泵电动机驱动液压泵。对液压泵电动机也没有调速、反转和降压启动的要求。
- (3) 采用电磁吸盘吸持工件后, 电磁吸盘要有退磁电路。同时, 为防止在磨削加工时因电磁吸盘吸力不足而造成工件飞出, 还要求有弱磁保护环节。

M7130 平面磨床的主电路如图 2-80 所示, 控制电路如图 2-81 所示。

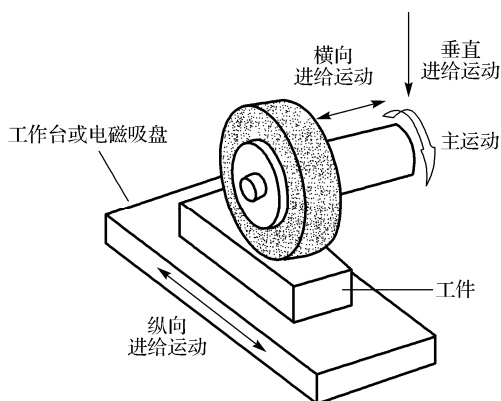


图 2-79 M7130 平面磨床的主运动和进给运动示意图

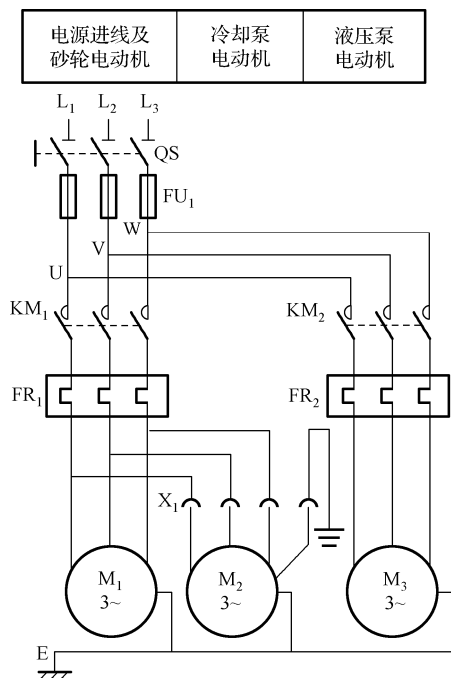


图 2-80 M7130 平面磨床的主电路

请自行对 M7130 平面磨床的电气控制电路进行分析。

电磁吸盘是利用线圈通电后产生电磁吸力来吸持铁磁性材料的工件, 从而进行磨削加工, 如图 2-82 所示。电磁吸盘具有操作简便, 在磨削时发热能够自由伸缩, 不至于变形和不损伤工件等优点, 特别适合同步加工多个小工件。但是, 电磁吸盘不能吸持非铁磁性材料的工件, 且线圈还必须使用直流电。

M7130 平面磨床的电磁吸盘电路如图 2-81 所示, 变压器降压后, 经桥式整流器变换成吸盘线圈的额定直流电压, 供给电磁吸盘线圈 YH。

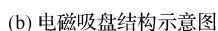
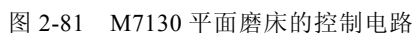


图 2-82 电磁吸盘

为防止因电磁吸盘吸力不足而造成工件飞出，应设置欠电压和欠电流保护（弱磁保护环节）。在电磁吸盘线圈 YH 电路中串接欠电流继电器 KA，只有直流电压符合电磁吸盘线圈 YH 电压和吸盘具有足够吸力时，继电器 KA 才动作，使其常开触点（3—4）闭合，为进行磨削加工做准备。若磨削加工过程中发生电压过小或电流过小，则继电器 KA 释放动作，其常开触点（3—4）复位，接触器 KM<sub>1</sub>、KM<sub>2</sub> 线圈断电，使所有电动机停止工作。



### 2.5.3 组合机床——通用部件（机械滑台）

组合机床是一种加工工序集中的高效率、高自动化的专用机械设备，能同时采用多刀、多面、多工序、多工位等进行加工工作。组合机床是由通用部件（如动力头、动力滑台或机械滑台等）、输送部件（如自动线工作回转台、零件输送装置等）、控制部件（如液压元件、控制板、电气挡铁或撞块等）和其他部件构成的。组合机床的控制系统通常采用机械、电气、液压或气动相结合的控制方式。

动力头的作用是能同时完成刀具切削及进给运动。

机械滑台（动力滑台）的作用是完成滑台的进给运动。根据不同的加工工艺要求，可实现多种工作循环，如图 2-83 所示。如图 2-84 所示为 HJ 系列机械滑台外形。机械滑台通常由快速电动机和工作进给电动机分别拖动滑台实现快速移动和工作进给。

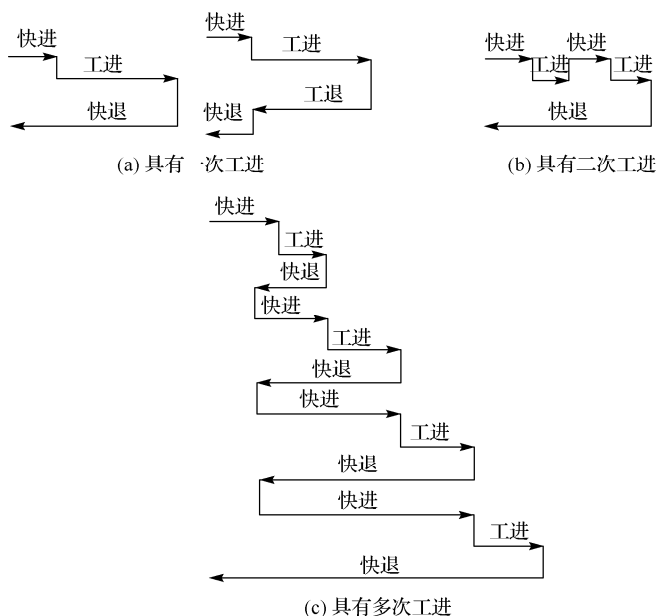


图 2-83 机械滑台的各种工作循环图

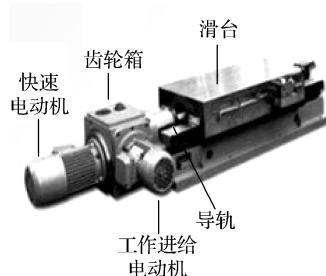


图 2-84 HJ 系列机械滑台外形

如图 2-85 所示为具有一次工作进给的机械滑台控制。工作过程：在主轴电动机使刀具开始工作后（即接触器  $KM$  动作，其常开触点闭合），滑台在 origin 的情况（条件）下，按快速移动按钮  $SB_1$  → 接触器  $KM_1$  通电动作，自锁并使制动器通电动作 → 快速电动机松闸并拖动滑台快速前移 → 滑台到达工作位置 → 挡铁（或撞块）压下快转工限位开关  $SQ_2$  → 接触器  $KM_1$  失电，导致制动器失电 → 快速电动机抱闸制动，同时接触器  $KM_3$  通电动作，自锁并使工作进给电动机拖动滑台以工作速度继续前移，刀具开始切削等加工 → 加工结束 → 挡铁（或撞块）压下终端限位开关  $SQ_3$  → 接触器  $KM_3$  失电 → 工作进给电动机停转，同时接触器  $KM_2$  通电动作，自锁并使制动器通电动作 → 快速电动机松闸并拖动滑台快速后退 → 返回原点 → 挡铁（或撞块）压下原点限位开关  $SQ_1$  → 接触器  $KM_2$  失电 → 制动器失电 → 快速电动机抱闸制动，完成一个工作循环。

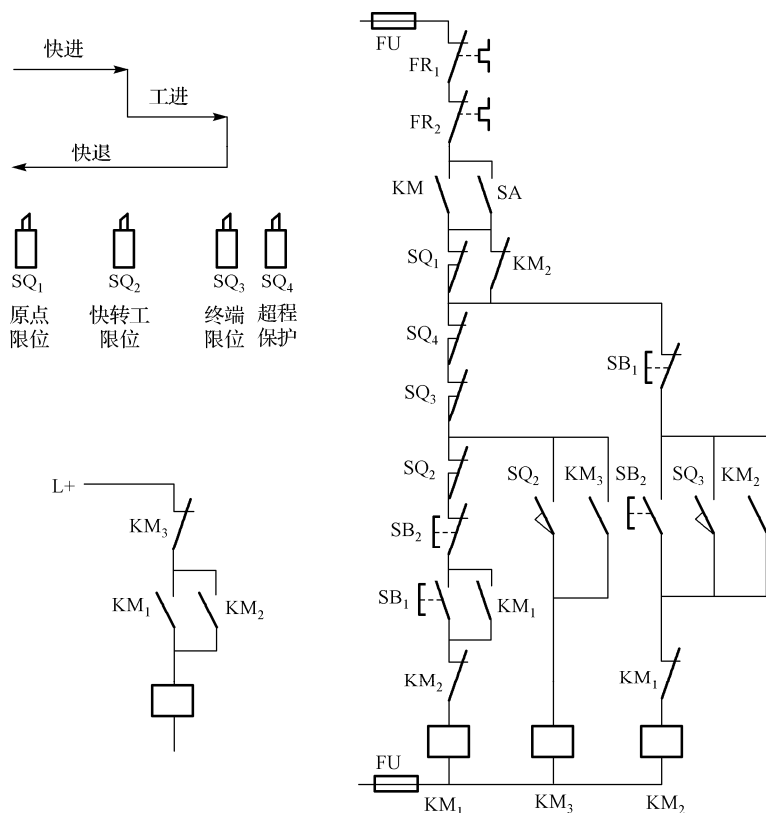


图 2-85 具有一次工作进给的机械滑台控制



## 本章小结

- 机电设备的动力源——电动机及其控制技术，是机电控制技术中的较为常用、最传统的一种控制技术，具体体现是以继电器-接触器为主的控制系统。
- 继电器-接触器控制系统具有能满足电动机的动作要求、动作准确性高、抗干扰能力强、不易发生误动作、系统结构及其维护和操作简单，但控制动作缓慢、触点易损坏、可靠性差、系统体积大等特点。
- 交、直流接触器可用于频繁接通或断开电路，能实现各类电气设备（如交流或直流电动机、电容器、电焊机、电阻炉、电磁阀、电磁铁、离合器等）的远距离控制。
- 接触器主要由电磁系统、触点系统、灭弧装置及其他部分组成。基本动作：线圈接上电源后，线圈中的电流在动、静铁芯之间的气隙产生电磁吸力，使动铁芯在电磁吸力作用下克服复位弹簧的反作用力（弹簧被压缩）与静铁芯吸合，同时带动触点（包括主触点和辅助触点）动作，从而实现控制目的。当线圈断电后，电磁吸力消失，则压缩的复位弹簧释放能量推动动铁芯复位，带动触点动作复位。
- 热继电器的作用是利用电流热效应来实现对电动机的过载、断相等的保护。热继电器主要由热元件、双金属片、触点系统、动作机构、电流整定装置（电流调节）、复位按钮等组成。



- 中间继电器的作用是将一个输入信号变换成多个输出信号,即增加控制信号的触点数量。
- 时间继电器是实现触点延时动作的自动控制电气元件。通电型时间继电器是电磁系统(线圈)通电时通过延时机构使延时触点系统延时动作、而断电时立即复位;断电型时间继电器是电磁系统(线圈)通电时触点系统立即动作,而断电时通过延时机构使延时触点系统延时复位。
- 电压或电流继电器是根据检测电压或电流大小而触点动作的保护继电器。
- 按钮开关是一种实现远距离发出指令的手动电气元件。
- 位置开关(限位开关、行程开关)主要用于检测运动部件的位移,从而限制机械运动的位置或范围(即行程)。
- 对电动机的控制主要是指对电动机启动、换向、调速、制动(停止)等方面的控制。
- 电动机的调速可通过改变定子绕组的磁极对数  $p$  或改变电源频率  $f_1$  来实现。改变定子绕组的磁极对数属于有级调速,制作复杂。改变电源频率  $f_1$  属于无级调速,现已成为异步电动机最主要的调速方法。
- 单相异步电动机常用调速方法有改变定子绕组的匝数比、附加电抗器、电子调速器等。
- 直流电动机按励磁方式可分为永磁式、他励式、自励式等;自励式又可分为并励式、串励式和复励式。
- 直流电动机的调速有电枢回路串电阻调速、改变励磁磁通调速、改变电枢电压三种方法。
- 特种电动机(控制电动机)的作用是在自动控制系统中作为检测元件、计算元件、执行元件等。
- 伺服电动机在自动控制系统中作为执行元件,作用是将输入的控制信号或控制电压转换成转轴上的角位移或角速度输出,以驱动控制对象。
- 步进电动机在自动控制系统中作为执行元件,作用是将电脉冲信号转换成转轴上的角位移或直线位移输出,以驱动控制对象。
- 测速发电机在自动控制系统中作为检测元件,作用是将机械转速或机械旋转量转换为相应的电压信号输出。
- 自整角机是一种将角位移的偏差进行自动调整的小型电动机,因此在自动控制系统中作为检测、执行元件。旋转变压器在自动控制系统中作为信号元件,作用是将角位移转换为电信号输出,因此具有检测、计算的功能。
- 以 C1650 车床、M7130 平面磨床、机械滑台为例的机械生产设备在机电控制中应用时采用继电器-接触器控制系统。



## 习 题 2

### 一、单选题

1. 继电器-接触器控制系统具有动作准确性高、( ) 和结构简单等特点。

- A. 动作快            B. 可靠性好            C. 体积小            D. 抗干扰能力强
2. 接触器可用于 (    ) 电路。  
A. 频繁接通            B. 频繁断开            C. 频繁短路            D. A 或 B
3. 接触器的主触点用于接通或断开 (    ) 的主电路, 而辅助触点用于接通或断开 (    ) 的控制电路。  
A. 小电流            B. 大电流            C. 小电压            D. 大电压
4. 接触器的文字符号为 (    )。  
A. KA            B. KV            C. KM            D. KS
5. 热继电器的作用是利用 (    ) 来实现对电动机的过载、断相等的保护。  
A. 电流热效应            B. 电压热效应            C. 电磁效应            D. 磁电效应
6. 中间继电器的作用是将 (    ) 信号转换成 (    ) 信号。  
A. 单个输入            B. 多个输入            C. 单个输出            D. 多个输出
7. 中间继电器的文字符号为 (    )。  
A. KA            B. KV            C. KM            D. KS
8. 时间继电器是实现触点 (    ) 的自动控制电气元件。  
A. 同时动作            B. 延时动作            C. 都不动作            D. 同时停止
9. (    ) 继电器是根据检测电压大小而触点动作的保护用继电器。  
A. 行程            B. 时间            C. 电流            D. 电压
10. 按钮的文字符号为 (    )。  
A. KA            B. KM            C. SB            D. SQ
11. (    ) 主要用于检测部件的位移, 从而限制机械运动的位置或范围。  
A. 行程开关            B. 时间继电器            C. 电流继电器            D. 电压继电器
12. 行程开关的文字符号为 (    )。  
A. KA            B. KM            C. SB            D. SQ
13. “异步”是指电动机转子转速 (    ) 旋转磁场转速。  
A. 小于            B. 等于            C. 大于            D. 不等于
14. 电动机在启动时采用星形连接, 则定子绕组的相电压是 (    ) 线电压, 实现降压启动。  
A. 1/3            B. 1/2            C. 1 倍            D. 2 倍
15. 通过改变电动机定子绕组的连接方法来改变磁极对数的调速方法属于 (    )。  
A. 无级调速            B. 有级调速            C. 有级调速            D. 电子调速
16. 当电动机磁极对数不变时, 转子的转速与频率成 (    )。  
A. 正比            B. 反比            C. 曲线            D. 不稳定
17. 变频器将固定频率交流电变换成 (    ) 可连续调节交流电。  
A. 频率            B. 电压            C. 功率            D. A 与 B
18. 并励式直流电动机的励磁绕组与电枢绕组是 (    ) 关系。  
A. 串联            B. 并联            C. 混联            D. 没有
19. 伺服电动机在自动控制系统中作为 (    )。  
A. 信号元件            B. 测量元件            C. 执行元件            D. A 与 B



20. 改变输入伺服电动机的控制信号的大小就可改变其( )。
- A. 转速                  B. 转向                  C. 稳定性                  D. A 与 B
21. 步进电动机在自动控制系统中作为( )。
- A. 信号元件              B. 测量元件              C. 执行元件              D. A 与 B
22. 步进电动机需由专用的驱动器供给( )信号。
- A. 交流                  B. 直流                  C. 脉冲                  D. A 与 B
23. 测速发电机在自动控制系统中作为( )。
- A. 信号元件              B. 测量元件              C. 执行元件              D. A 与 B
24. 自整角机是一种将( )的偏差进行自动调整的小型电动机。
- A. 交流电                  B. 直流电                  C. 旋转角                  D. 角位移
25. 旋转变压器在自动控制系统中作为( )。
- A. 信号元件              B. 测量元件              C. 执行元件              D. A 与 B

## 二、判断题

1. 继电器-接触器控制系统具有动作准确性高、抗干扰能力强、不易发生误动作,但动作缓慢、触点易损坏、可靠性差、体积大等特点。 ( )
2. 接触器可实现远距离控制但不能用于频繁接通或断开电路。 ( )
3. 接触器的文字符号为 KA。 ( )
4. 热继电器的作用是利用磁电效应来实现对电动机的过载、断相等的保护。 ( )
5. 中间继电器的作用是将单个输出信号转换成多个输入信号。 ( )
6. 时间继电器是实现触点延时动作的非自动控制电气元件。 ( )
7. 按钮开关是一种非自动电气元件,可实现远距离控制其他电气装置的工作或状态转换等。 ( )
8. 限位开关是利用部件的移动发生碰撞而实现触点动作的,使运动在规定的位置或范围内。 ( )
9. 当电源电压与电动机额定电压相等时,电动机定子绕组必须连接成星形。 ( )
10. 变频器的作用是将固定频率交流电变换成频率、电压均可连续调节的交流电。 ( )
11. 由于直流电动机的电磁转矩是由主磁极磁通和电枢绕组电流的相互作用产生的,因此改变转向就需要同时将二者的方向都改变。 ( )
12. 伺服电动机的作用是将输入的控制信号或控制电压转换成转轴上的角位移或角速度输出,以驱动控制对象。 ( )
13. 步进电动机的作用是将交流信号转换成转轴上的角位移或直线位移输出,以驱动控制对象。 ( )
14. 测速发电机的作用是将转速或旋转量转换为相应的电压信号输出。 ( )
15. 直流测速发电机的实质就是一台微型的直流发电机。 ( )
16. 自整角机是一种将交流电偏差进行自动调整的小型电动机。 ( )
17. 旋转变压器在自动控制系统中作为输入电压随转子转角变化的信号元件。 ( )

## 三、多选题

- 继电器-接触器控制系统具有（ ）等特点。  
A. 动作准确性高      B. 抗干扰能力差      C. 抗干扰能力强      D. 结构简单  
E. 体积小      F. 体积大      G. 可靠性差      H. 可靠性好
- 接触器主要控制（ ）等设备。  
A. 交流电动机      B. 直流电动机      C. 电磁阀      D. 离合器  
E. 电阻炉      F. 电焊机      G. 电容器      H. 电磁铁
- 空气阻尼式时间继电器主要由（ ）等组成。  
A. 铁芯      B. 线圈      C. 电磁系统      D. 瞬时触点  
E. 延时触点      F. 触点系统      G. 延时机构      H. 动作机构
- 依顺序列出时间继电器、热继电器、接触器、中间继电器、电压继电器的文字符号，为（ ）。  
A. KA      B. KV      C. KS      D. KF  
E. KM      F. KT      G. FR      H. FU
- 改变（ ）可实现电动机转速的改变。  
A. 罩极面积      B. 短路      C. 开路      D. 改变频率  
E. 短路环      F. 输入电流方向      G. 输入电压极性      H. 磁极对数
- 直流电动机按励磁方式可分为（ ）等；按电刷装置可分为（ ）。  
A. 单刷式      B. 双刷式      C. 刷式      D. 无刷式  
E. 他励式      F. 并励式      G. 串励式      H. 永磁式
- 特种电动机（控制电动机）应具有（ ）等特点。  
A. 准确度高      B. 运行可靠      C. 动作灵敏      D. 体积大  
E. 体积小      F. 质量重      G. 质量轻      H. 控制困难
- 旋转变压器输出绕组的电压幅值与转子转角呈（ ）关系，或在一定转角范围内与转角呈（ ）关系。  
A. 指数      B. 对数      C. 余弦函数      D. 非余弦函数  
E. 正弦函数      F. 非正弦函数      G. 线性      H. 非线性

## 四、分析题

- 接触器的电磁线圈断电后，（ ）消失，则被压缩的弹簧释放能量推动（ ）动作，从而使（ ）复位。  
A. 动铁芯      B. 电磁吸力      C. 触点
- 当电流过大时，热继电器的热元件产生的（ ）加大，使（ ）变形增大，通过动作机构推动（ ）系统动作，切断电动机的控制电路，从而实现电动机的（ ）保护。  
A. 双金属片      B. 过载      C. 热量      D. 触点
- 断电型时间继电器的线圈通电时，（ ）立即动作；断电时，通过（ ）机构使延时触点延时（ ）。  
A. 延时      B. 复位      C. 延时触点





4. 通电型时间继电器的线圈通电时,通过( )机构使( )系统延时动作;断电时,触点( )。

- A. 延时                  B. 复位                  C. 延时触点

5. 电动机的工作原理是三相对称定子绕组中通入( ),则在定子内产生( )。由于转子不动,使旋转磁场与( )产生相对运动。根据( )原理,因切割旋转磁场的磁力线而产生( ),该感应电流与旋转磁场的相互作用,在转子上会产生( ),迫使转子转动。

- A. 转子绕组              B. 旋转磁场              C. 电磁感应              D. 三相交流电  
E. 感应电动势            F. 电磁转矩

6. 直流电动机电磁转矩的产生是依据( )定理,在定子的( )与导体中的( )共同作用下,( )会受到电磁力的作用,从而形成电磁转矩。

- A. 电枢线圈              B. 主磁极                  C. 电磁力产生              D. 电流产生磁场

7. 步进电动机是每输入( ),转子就( )。步进电动机的位移与( )成正比,转速或线速度与( )成正比。只要改变信号的输送次序,就可改变步进电动机的( )。

- A. 一个脉冲              B. 前进一步                  C. 脉冲频率  
D. 脉冲个数              E. 转向

# 第3章 检测与传感技术



## 学习目标

本章主要讲述的是检测与传感技术及其常用的传感器。通过本章的学习，应掌握各类传感器的作用，明确各类传感器的应用，了解传感技术的基本概念、传感器的分类和未来的发展。

### 主要内容

- 检测与传感技术的基本知识。
- 敏感元件与传感器。
- 应用实例。



## 3.1 检测与传感技术的基本知识

在机电设备的自动控制系统里，为监控整个工作过程（包括运动过程、生产过程等）要对过程中的各种物理量及参数进行必要的检测，使系统在正常或最佳的状态下工作。检测的灵敏性、可靠性、反应性、准确度等性能将直接影响整个系统的运行质量，因此检测技术及检测系统成为机电技术及自动控制系统中的关键、重要部分。

### 3.1.1 检测技术及检测系统

检测技术是一种随着现代科学技术的发展而迅猛发展的技术，是机电及自动控制系统中不可缺少的关键技术之一。通过检测能够进行信息的获取、信息的转换、信息的传递及信息的处理等。

#### 1. 检测系统的组成

检测系统一般由传感器、放大电路、其他装置组成，如图 3-1 所示。

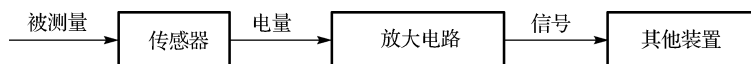


图 3-1 检测系统的组成框图

传感器是被测量（如各种物理量、化学量等）变换为与之有确定或对应关系的、便于测量及应用的另一种量（通常为电量）的装置。



放大电路将经传感器转换的比较微弱的电量（信号）进行放大，并根据需要进行细化信号的处理，如补偿、整形、匹配等。

其他装置包括控制器（作为反馈信号）、计算机（作为数据的处理和存储）、显示器（作为现场监控信号）、打印设备（作为数据的分析、结果、提供依据）等。

## 2. 主要技术指标

检测技术的主要技术指标包括静态指标、动态指标、环境指标等。

静态指标包括准确度、灵敏度、分辨能力或分辨率、可靠性等。

动态指标包括响应速度、频率响应等。

### 3.1.2 传感器及其技术

在机电设备和自动化系统中存在各种不同的量（如速度、直线位移、角位移、压力、温度等物理量）需要监测和控制，但终端设备或装置（如控制器、计算机及其系统等）往往只能识别电量，因此需要把各种不同的非电量变换成电量以满足要求，完成这一任务的就是传感器。传感器能将各种非电量（如机械量、化学量、生物量、光学量等）转换成电量，实现非电量的检测和传感技术。

#### 1. 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件这两个基本元件组成，如图 3-2 所示。



图 3-2 传感器的基本组成

敏感元件：直接检测或感受被测量，并输出与被测量有一确定关系的某一中间量或参数。

转换元件：将敏感元件输出的中间量或参数转换成相应电量输出。

**【例 3-1】**继电器-接触器控制——位置开关（位置传感器）

如图 3-3 所示为一种位置开关（位置传感器）的结构。

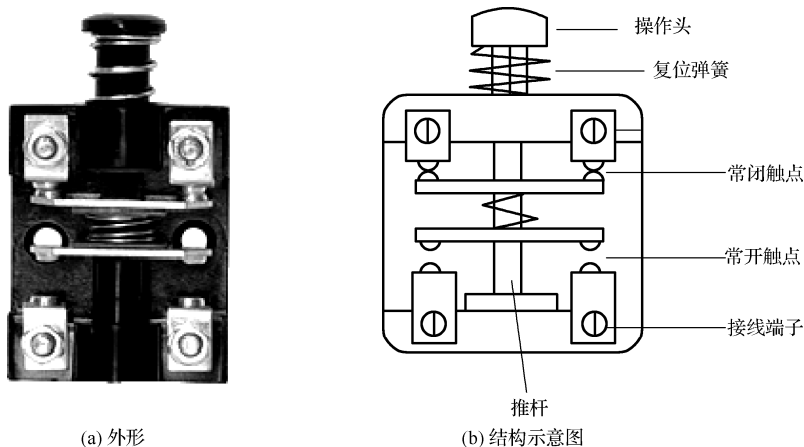


图 3-3 位置开关（位置传感器）的结构

工作过程：当操作头（敏感元件）检测或感受到位置变化带来的压力（被测量）时，

产生一直线力矩（中间量），通过推杆（转换元件）转换成控制信号或指令，即常闭触点断开、常开触点闭合，从而接通或切断电路，相当于电量的输出（控制）。

但在实际中，并不是所有的传感器都有敏感元件和转换元件，有的传感器可以直接转换成电量，如对热或温度比较敏感的元件（热敏电阻等）、对光比较敏感的光电元件（光电二极管等）等。

## 2. 传感器的分类

### 1) 按用途分类

按传感器的用途可分为位移传感器、位置传感器、速度传感器、压力传感器、温度传感器、流量传感器等，以及以被测物理量命名的传感器。

### 2) 按工作原理分类

按传感器工作原理可分为电阻应变式、电容式、电感式、压电式、磁电式、光电式、涡流式等。

### 3) 按输出信号性质分类

按传感器输出信号的性质不同可分为模拟量传感器、数字量传感器、开关量传感器等。模拟量传感器是指传感器输出随时间连续变化的模拟信号。

数字量传感器是指传感器输出没有幅值意义的脉冲信号。

开关量传感器是指传感器输出 0 或 1 的两种状态信号。

### 4) 按能量转换情况分类

根据传感器的能量转换情况可分为能量转换型、能量控制型等。

能量转换型是指转换过程中不需要外电源就可实现转换，如利用光电效应、压电效应、热电效应等传感器，又称无源型传感器。

能量控制型是指在转换过程（信号变化过程）中，需要由外电源供给能量以实现转换，如电阻式、电容式、电感式、霍尔式等传感器，又称有源型传感器。

## 3. 传感器的主要性能要求

- (1) 高灵敏度、高精度、动态性能良好。
- (2) 稳定性好，应长期工作稳定，抗干扰能力强。
- (3) 结构简单、小巧，工作可靠。
- (4) 抗腐蚀性好。
- (5) 使用、维护方便，成本低等。

## 4. 传感器的发展方向

随着新技术（微电子技术、微处理器等）、新材料的飞速发展，传感器应向微型化、多功能化、集成化、智能化的方向发展。



## 3.2 敏感元件与传感器

传感器的种类很多，在机电技术及其系统中常用的主要有位移传感器、速度传感器、位置传感器、温度传感器、压力传感器等。

3.2.1 位置传感器

位置传感器通过检测来确定被测物体是否到达所需的位置，并输出开关量信号使系统的运行状态发生变化，达到限制机械运动或实现控制的目的。

在机电设备（系统）及自动控制系统中，位置传感器应用广泛，如在机械滑台、普通机床、数控机床、自动生产流水线、机器人等上作为行程的限制或检测是否符合、满足要求等。几种位置传感器的外形如图 3-4 所示。

位置传感器分为接触式位置传感器和非接触式位置传感器两种。

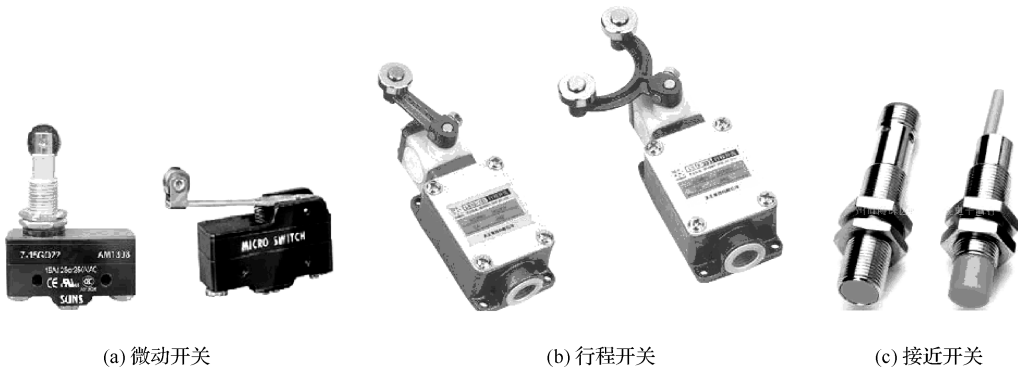


图 3-4 几种位置传感器外形

1. 接触式位置传感器

接触式传感器是一种接触性的检测开关，即必须与运动部件（如挡块、撞块）发生机械接触（如碰撞）才能工作的位置开关。这类传感器主要有带触点动作的行程（限位）开关和微动开关等，其敏感元件是不惧碰撞的机械操作头。它利用机械设备中某些运动部件的碰撞而使其触点发生动作，接通或断开电路，从而实现控制的目的。在上一章中的继电器-接触器控制系统最为常见。

【例 3-2】移动平台自动往返运动控制系统

接触式位置传感器实例——移动平台自动往返运动控制系统。如图 3-5 所示为该系统的结构原理示意图。

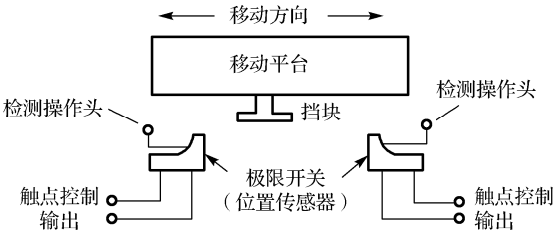


图 3-5 移动平台自动往返运动控制系统的结构原理图

系统由移动平台、挡块、极限开关（位置传感器）及控制电路等组成。

移动平台的直线移动范围是在两个极限开关的检测操作头之间，在移动平台移动过程中，当挡块接触到极限开关的检测操作头时，极限开关内的触点输出指令信号，

通过控制电路（装置）使移动平台往返于两个极限开关的检测操作头之间，实现位置控制。

## 2. 非接触式位置传感器

非接触式位置传感器是利用传感器对接近物体所具有的敏感特性来达到控制目的的，因此又称为接近开关。接近开关是一种非接触性的检测开关，是无须与运动部件发生机械接触就能实现工作的位置开关。当机械设备的某些部位接近开关的感应面并达到动作要求时，开关即动作，可以给控制装置发出控制信号（指令）。

### 【例 3-3】工件计数系统

非接触式位置传感器实例——工件计数系统。如图 3-6 所示为该系统的工作原理示意图。

工件计数系统由传送带、接近开关（非接触式位置传感器）、计数器等组成。

接近开关安置在传送带的一侧，并与计数器连接。当传送带带动工件运行经过接近开关时，接近开关就会输出脉冲信号，并送至计数器进行计数和累加。

非接触式位置传感器根据不同的工作原理和不同的方法，使用的敏感元件也不相同，因此非接触式位置传感器种类较多，常见的有电感式、电容式、光电式、磁性等。

#### 1) 电感式接近开关

电感式接近开关是利用金属物体在靠近能产生电磁场的接近开关时，在金属物体内部产生涡流，该涡流反馈到接近开关，使开关内部的电路参数发生变化，由此识别出有无金属物体移近进而控制系统的工作。所以，这种接近开关一般只适用于检测金属物体或导体。电感式接近开关的外形如图 3-7 所示。

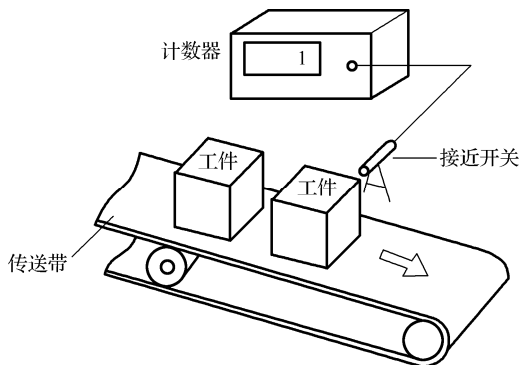


图 3-6 工件计数系统的工作原理示意图

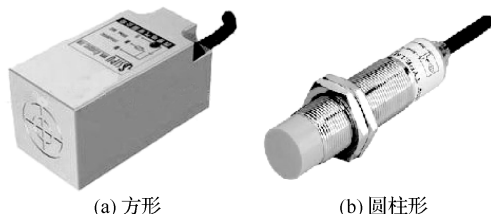


图 3-7 电感式接近开关的外形

电感式接近开关的结构如图 3-8 所示。



图 3-8 电感式接近开关的结构



电感式接近开关内部电路由高频振荡器（LC 振荡器）、信号处理电路、放大输出电路三部分组成，如图 3-9 所示。

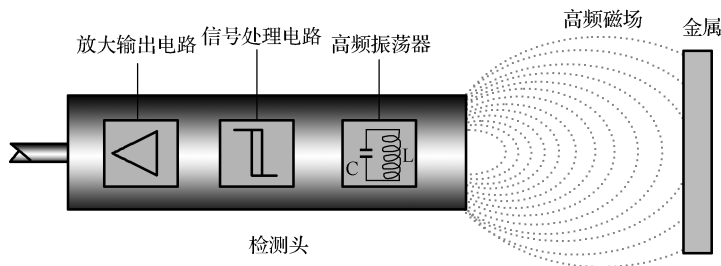


图 3-9 电感式接近开关内部电路的组成及原理

高频振荡器在电感式接近开关中作为敏感元件，其作用是产生一个高频交变磁场，利用被测金属物体在接近时产生涡流效应，引起振荡器的振幅发生变化，即振荡衰减或停振，该变化经信号处理电路转换成开关量信号，经过放大输出电路后输出，从而达到检测的目的。

## 2) 电容式接近开关

电容式接近开关是利用被测物体作为电容器的一部分（一个极板），电容器的另一部分（另一个极板）为检测头的金属感应面，从而构成一个电容器。当被测物体靠近该接近开关时，电容量发生变化，使该接近开关内部电路参数发生变化，由此识别出有无物体移近进而控制系统的工作。这种接近开关适用于检测金属物体、导体、液体和一些非金属物体等。电容式接近开关的外形如图 3-10 所示。



图 3-10 电容式接近开关的外形

如图 3-11 所示为电容式接近开关内部电路及原理。可见，电容式接近开关内部电路由 RC 振荡器、信号处理电路、放大输出电路三部分组成。

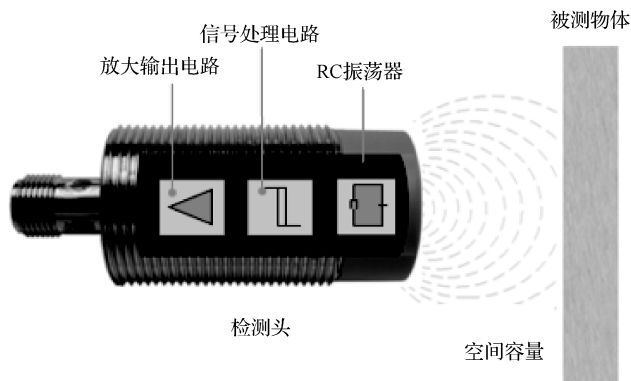


图 3-11 电容式接近开关内部电路的组成及原理

RC 振荡器在电容式接近开关中作为敏感元件，其作用是当电容量增大时，产生振荡形成信号输出。在系统工作时，RC 振荡器不工作（停振）；当被测物体靠近时，空间容量压缩，使电容器的容量增大，RC 振荡器开始工作，产生的振荡信号经信号处理电路转换成开关量信号，经过放大输出电路后输出，从而达到检测的目的。

## 3) 光电式接近开关

光电式接近开关是利用光电效应实现控制目的开关，简称光电开关。使用时，将发光元件与光电元件按规定放置。当被测物体通过时，会挡住或遮住发光元件的光束（光线），光电元件感受到光线的变化，就产生信号输出，由此识别出有无物体移近进而控制系统的工作。这种接近开关适用于检测不透光或能反射光的物体。在光电式接近开关中，光电元件（如光电二极管、光电三极管等电子元件）作为敏感元件。

光电式接近开关的外形如图 3-12 所示。



图 3-12 光电式接近开关的外形

光电开关可分为对射式、漫射式（漫反射式）、反射式三种。

(1) 对射式光电开关是由处于相对位置的光发射器（一般采用发光二极管或激光二极管）和受光接收器（采用光电二极管或光电三极管）组成，如图 3-13 所示。

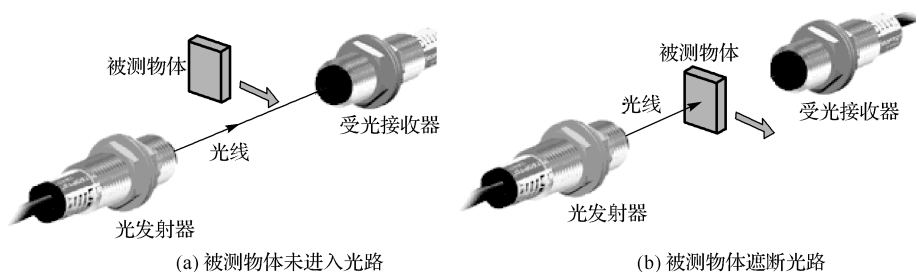


图 3-13 对射式光电开关的构成及原理

从图 3-13 可见，当被测物体通过时，光线（光路）被遮断，受光接收器无法接收光线，从而发生动作，输出开关控制信号。

(2) 漫射式（漫反射式）光电开关是由处于同一位置的光发射器与受光接收器构成的一体化结构（盒式），如图 3-14 所示。

从图 3-14 可见，漫反射式光电开关是利用光照射到被测物体后反射回来的光线而工作的。由于被测物体反射的光线为漫反射光，所以称为漫反射式光电开关。没有被测物体时，受光接收器没有接收到光线，即不动作；当被测物体通过时，光路被遮断并反射光线，受光接收器在接收到光线后动作，输出开关控制信号。



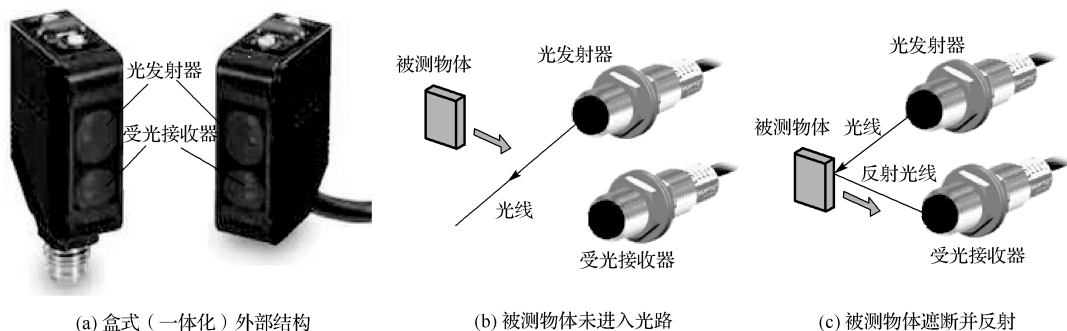


图 3-14 漫反射式光电开关构成及原理

(3) 反射式光电开关与漫反射式光电开关的组成基本相同，区别是前方多安装了一块反光镜（反光板），如图 3-15 所示。

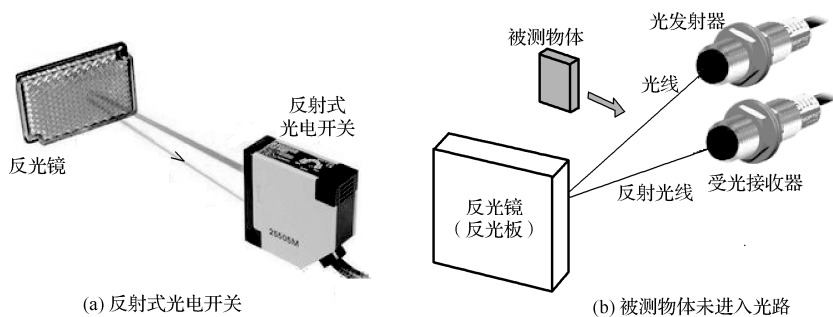


图 3-15 反射式光电开关的构成及原理

从图 3-15 可见，反射式光电开关在没有被测物体时，受光接收器通过反光镜（反光板）接收到光线而不动作；当被测物体通过时，光路被遮断，受光接收器无法接收到反光镜的反射光线即动作，输出开关控制信号。

#### 4) 磁性接近开关

磁性接近开关是利用磁性元件作为敏感元件（磁敏元件）的接近开关，简称为磁性开关。当一个带磁性的物体（如永久磁体等）靠近时，开关内的磁敏元件会使开关内部电路发生变化，产生信号输出，由此识别有无磁性物体存在或移近。这种接近开关适用于检测磁性的物体。

几种磁性接近开关的外形如图 3-16 所示。



图 3-16 几种磁性接近开关的外形

磁性接近开关目前常用的有霍尔式（又叫霍尔开关）、舌簧式（又叫干簧管）等。

（1）霍尔开关。霍尔开关是利用具有霍尔效应的元件做成的开关。霍尔效应是指当一块通以电流的导体（金属薄片）垂直放在磁场中时，薄片的两端会形成电位差的现象，如图 3-17 所示。

当磁性物体靠近时，磁感应强度  $B$  就会增大。当  $B$  增大到一定程度时，开关内部的电路（触发器）发生变化（触发器的状态发生翻转），进而引起输出信号的变化（即输出开关信号）。

（2）干簧管。干簧管如图 3-18 所示。

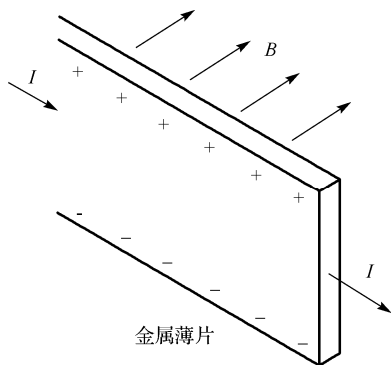


图 3-17 霍尔效应

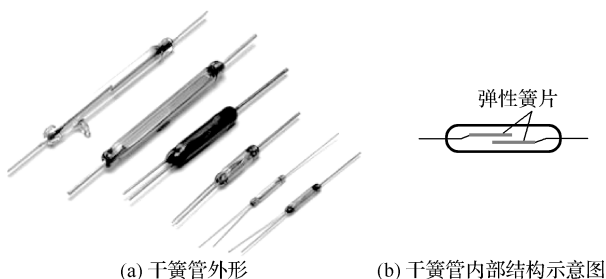


图 3-18 干簧管

从图 3-18 可见，在正常时，干簧管内的两片弹性簧片是分开的。当带有磁性物体靠近时，在磁场磁力线作用下，两片弹性簧片被磁化而发生相互吸引并接触，相当于一个开关的工作。

## 训练项目 5：电感式、电容式接近开关的识别与检查

### 1. 训练目的

掌握检测与传感控制技术，提高对检测与传感控制技术的应用能力，熟悉几种常用的传感元件的应用，能正确使用仪表进行识别和检查，为维护、维修做好准备。

### 2. 训练内容

电感式、电容式接近开关的识别与检查。

### 3. 设备、材料

设备、材料清单如表 3-1 所示。

表 3-1 设备、材料清单

名 称	规格（参考）	数 量
万用表	指针式	1 台
直流电源	DC 0~24V	1 台
电感式接近开关	ZLJ-A30-15ANA	1 只
电容式接近开关	CR30-15DN	1 只

续表		
名 称	规格（参考）	数 量
电阻	10kΩ	1 只
绝缘导线	0.5mm <sup>2</sup> 、单支（单股）	若干
常用电工工具		1 套
物体	金属、非金属	各 1 件

4. 训练步骤

- （1）根据说明书或标签上给出的接线图对接近开关的引线加以识别。
- （2）先将一只接近开关按图 3-19 接线。

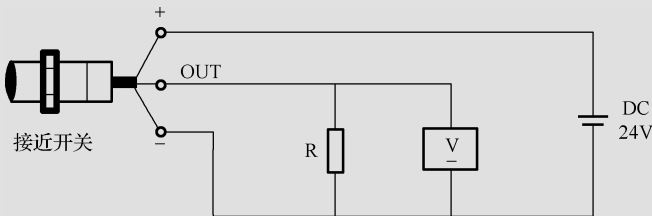


图 3-19 接近开关的测试

- （3）将万用表调至直流电压 50V 挡，接入线路。  
注意：黑表笔应放在电源负极的一侧。
- （4）连接完毕，检查无误后在指导老师的指导下，接通电源。
- （5）观察电阻两端的电压。分别用金属、非金属的物体靠近接近开关，再观察电压的变化。
- （6）若接近开关只对金属物体有反应，则说明其为电感式；若对金属和非金属物体均有反应，则说明其为电容式。
- （7）用同样方法、步骤对另一只接近开关进行测试。
- （8）测试接近开关的输出形式，在上述测试过程中，留意电压的读数。当物体未靠近接近开关时，电压为高电平，而当物体靠近接近开关时，电压即为低电平，说明该接近开关为 NPN 常开型；若当物体靠近接近开关，电压由低电平变为高电平，则说明该接近开关为 PNP 常开型。
- （9）结束工作，清理工作位置，归还材料、工具等。

5. 思考

试比较两种接近开关的特点。

相关知识：接近开关引线的识别

根据接近开关输出形式的不同，接近开关引出线分为 2 线、3 线、4 线等几种。接近开关的输出引线一般应按说明书或标签上给出的接线图用导线颜色加以识别。

（1）在一些品牌的接近开关给出的接线图上往往采用导线颜色+英文缩写来表示，如：黑色 BK（BLACK），一般为输出线，输出为常开型；棕色 BN（BROWN），一般为电源线，接电源正极；蓝色 BU（BLUE），一般为电源线，接电源负极；白色 WH（WHITE），一般

为输出线,输出为常闭型;红色 RE(RED),一般为电源线,接电源正极;黄色 YE(YELLOW),一般为输出线,输出为常闭型。

(2) 在一般情况下,4 线接近开关的输出引线为棕、黑、蓝、白 4 种颜色,也有部分采用红、蓝、白、黄 4 种颜色,分别作为电源正极、输出常开、电源负极、输出常闭使用。3 线接近开关的输出引线为棕、黑、蓝 3 种颜色,也有部分采用红、蓝、白 3 种颜色,分别作为电源正极、输出常开、电源负极使用。

## 训练项目 6：对射式、漫反射式光电开关的识别与检查

### 1. 训练目的

掌握检测与传感控制技术,提高对检测与传感控制技术的应用能力,熟悉光电开关的应用,能正确使用仪表识别和检查常用的对射式、漫反射式光电开关,为维护、维修做好准备。

### 2. 训练内容

对射式、漫反射式光电开关的识别与检查。

### 3. 设备、材料

设备、材料清单如表 3-2 所示。

表 3-2 设备、材料清单

名 称	规格 (参考)	数 量
万用表	指针式	1 台
直流电源	DC 0~24V	1 台
对射式光纤传感器	BF3RX, 光纤型号: FT-420-10	1 只
漫反射式光电开关	BYD100-DDT	1 只
绝缘导线	0.5mm <sup>2</sup> 、单支 (单股)	若干
电阻	10kΩ	1 只
纸片	不透光、白纸	若干
常用电工工具		1 套

### 4. 训练步骤

(1) 根据说明书或标签上给出的接线图对开关的外观及其引线加以识别。

(2) 使用万用表 R×10kΩ 挡测量对射式光纤传感器的棕、蓝、黑 3 根引线之间的电阻值,均应在 0.5MΩ~∞。

(3) 将光纤传感器接入直流电源,扳下光纤传感器的锁定杆,将光纤插入传感器插孔,插到底后将锁定杆关闭。

(4) 连接完毕,检查无误后在指导老师的指导下,接通电源。

(5) 观察检测头发出的红光。将万用表调至直流电压 50V 挡,测量电源正极与黑色输出线之间的电压。

注意: 红表笔应放在电源正极的一侧。

(6) 将发光的检测头对准另一个检测头,观察电压读数从高电平变为低电平;再用不透



光的纸片插入两个检测头之间遮断红光,观察电压读数从低电平变为高电平,说明该传感器为暗动模式。

暗动模式:遮光动作,表示在进入接收器的光束减少到一定程度时或全被遮住时,输出三极管将导通输出。

(7)关闭电源,将白色引线改接为电源的负极,再通上电源重新测试。将纸片插在两检测头之间,电压读数应从高电平变为低电平,说明传感器已变为亮动模式。

亮动模式:受光动作,表示进入接收器的光束增加到一定程度时,输出三极管将导通且有输出。

结论:当传感器的白色引线接电源正极时,光纤传感器为暗动模式;当传感器的白色引线接电源负极时,光纤传感器为亮动模式。

(8)用同样的方法、步骤对漫反射式光电开关进行测试。将漫反射式光电开关接入直流电源,用万用表测量电源正极与黑色引线之间的电压。将一张白纸靠近光电开关的透镜时,电压读数从低电平变为高电平;而将白纸移开时,电压读数又变为低电平,说明该光电开关为亮动模式(固定模式)。

(9)结束工作,清理工作位置,归还材料、工具等。

### 5. 注意事项

(1)应避免使接收器光轴正对太阳光、白炽灯等强光源。

(2)并列安装几组光电开关时,应防止相互干扰;相邻的光电开关应拉开距离。

(3)当被测物体有明亮光泽或遇到光滑金属面时,由于反射率很高,因此这时应使发射器与被测物体呈 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 的夹角,使其光轴不垂直被测物体,防止误动作。

(4)应留意背景物的影响。

(5)光电开关的透镜严禁采用稀释溶剂等化学品擦拭。

### 6. 思考

试比较两种光电开关的特点。

### 相关知识: 光电开关的识别

#### 1) 类型识别

对射式光电开关:发射器和接收器是分开的。

漫反射式光电开关:发射器和接收器是一体化的。

反射式光电开关:发射器和接收器是一体化的,但多一个反射板(反射镜)。

光纤传感器:带光纤线,端部有光纤检测头。

#### 2) 引线识别

应按说明书或铭牌上的接线图中标注的颜色来识别。一般情况下,一体化的光电开关引线:棕色为电源正极、蓝色为电源负极、黑色为输出线、白色为选择动作模式的控制线。对射式光电开关:发射器上的棕色、蓝色分别为电源线的正、负极,接收器的棕、黑、蓝引线,与一体化的光电开关相同。

### 3.2.2 位移传感器

位移传感器与位置传感器不同,位置传感器是通过检测确定被测物体是否到达某一位

置, 然后产生能反映某种状态的开关量或开关信号输出, 因此常用于生产机械设备、自动生产线、机器人等作为工作台、机械动作等是否到位的行程限制或检测。而位移传感器检测的是被测物体运动(一段距离)的变化量, 为此需要产生连续变化的模拟量, 它将直接影响机电控制及自动化控制系统及其设备的控制精度。例如, 在闭环控制系统中, 利用该信号作为反馈信号与给定值(设定值)进行比较后实现自动控制。

位移传感器分为直线位移传感器和角位移传感器两种类型。

## 1. 直线位移传感器

直线位移传感器主要有电容式、电感式、感应同步器、光栅等形式。

感应同步器按结构形式又分为直线感应同步器和圆感应同步器两种, 如图 3-20 所示。感应同步器利用两个平面形状的线圈(绕组)的互感随位置的移动或变化而变化的原理将直线位移或角位移变换成电信号输出, 以此作为反馈。所以, 感应同步器是一种电磁式的检测传感器。

直线感应同步器的外部构成如图 3-21 所示。

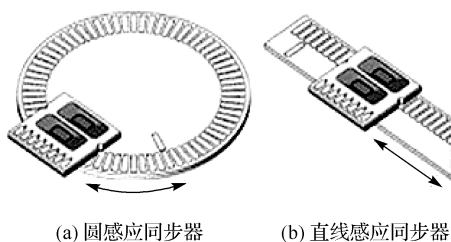


图 3-20 感应同步器的种类

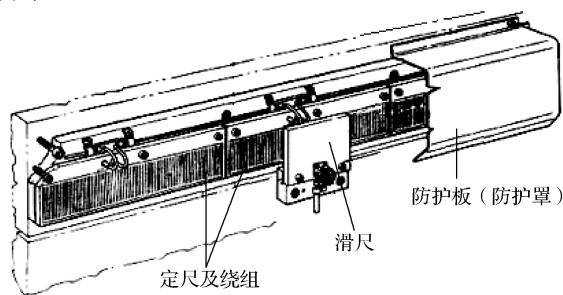


图 3-21 直线感应同步器

从图 3-21 可见, 直线感应同步器主要有定尺、滑尺两部分。定尺固定在设备上, 其绕制连续绕组, 该绕组作为输出绕组, 相当于变压器的二次绕组。滑尺是移动部件, 反映被测物体的运动变化量(位移量), 其绕制分段绕组, 该绕组作为励磁绕组, 相当于变压器的一次绕组。结构展开图如图 3-22 所示。在励磁绕组加上交流励磁电压  $u$  后, 即产生交变磁场, 并交链于输出绕组, 根据电磁感应原理, 将使输出绕组产生感应电动势  $e$ , 其大小随两绕组相对位置变化而不同, 因此可以实现信号的输出反馈。

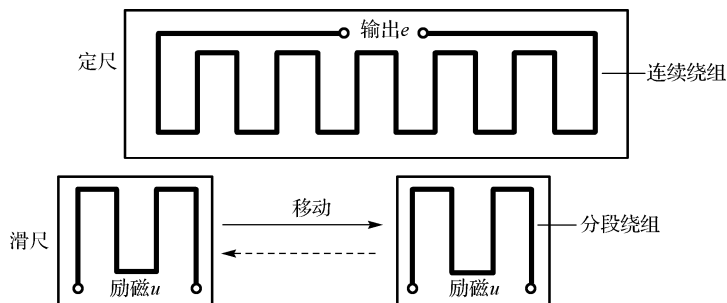


图 3-22 直线感应同步器结构原理展开图

## 2. 角位移传感器

角位移传感器主要有电容式、旋转变压器、圆感应同步器、编码器等形式。



编码器是一种用数字代码表示角位移的检测器，是主要用来测量角位移的装置。光电编码器由于具有非接触、体积小、分辨率高等特点，成为目前应用最为广泛的编码器。

光电编码器的外形如图 3-23 所示。从外观来看，光电编码器类似于一台微型电动机。

光电编码器是通过光电转换，将被测物的输出轴的角位移、角速度等转换成相应的电脉冲输出。光电编码器按信号原理分为增量式编码器和绝对式编码器。

#### 1) 增量式编码器

增量式编码器由带有转轴的码盘、光源板（发光二极管）、接收器（光电敏感元件）等组成，如图 3-24 所示。

如图 3-25 所示为增量式编码器的码盘结构。在旋转的码盘上刻有节距相等的透光缝隙，相邻两个透光缝隙之间的距离代表一个脉冲周期；另还开一个小孔，称零标志孔，用于产生零位信号或定位。

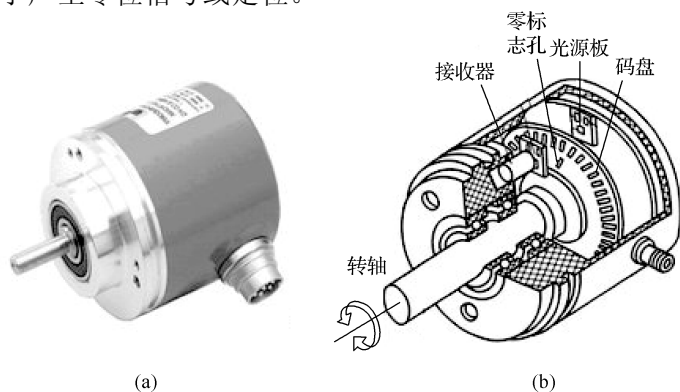


图 3-24 增量式编码器的结构

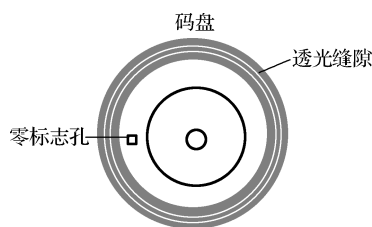


图 3-25 增量式编码器的码盘结构

在码盘的相对两侧，分别装有光源板、接收器，如图 3-26 所示。

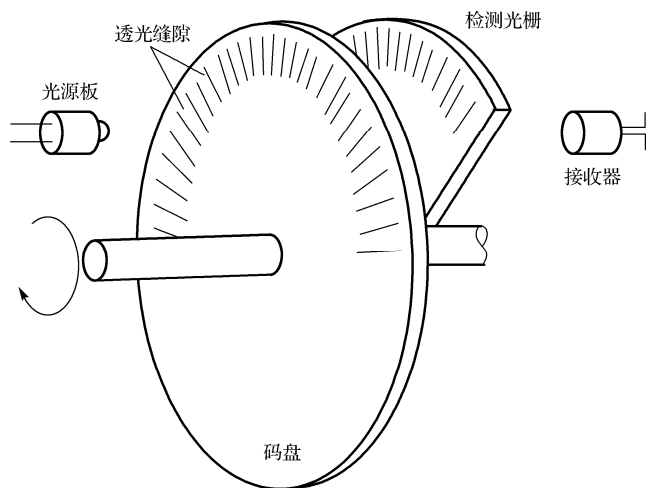


图 3-26 增量式编码器的原理

当码盘随被测物体的转轴转动时，检测光栅不动；光源板的光线透过码盘及检测光栅上的缝隙照射在接收器上，接收器输出两组相位相差  $90^\circ$  电角度的电信号，再经过信号处理及整形后输出脉冲信号。

## 2) 绝对式编码器

绝对式编码器与增量式编码器的区别在于码盘，如图 3-27 所示。

码盘上刻有许多光通道的刻线，每道刻线依次为 2 线、4 线、8 线、16 线…… $2^n$ ；通过读取每道刻线的亮、暗，就可获得该位置的一组二进制编码，实现由光电码盘的机械位置决定每个位置输出的唯一编码及表示转轴的绝对位置。

### 【例 3-4】专用钻床转角进给系统

专用钻床转角进给系统如图 3-28 所示。

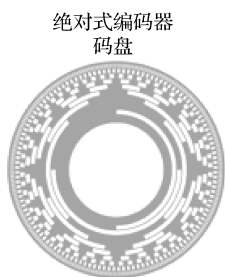


图 3-27 绝对式编码器的码盘

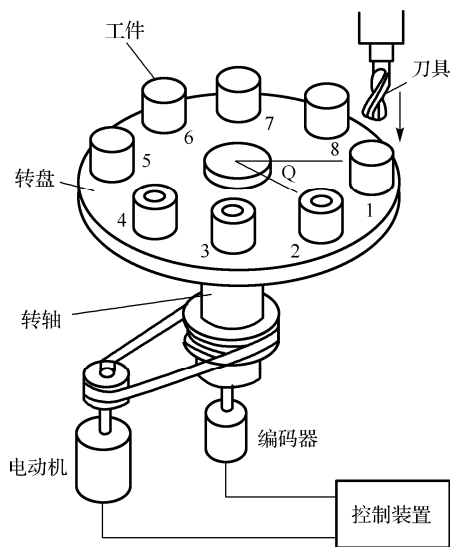


图 3-28 专用钻床转角进给系统

专用钻床转角进给系统由垂直刀架、盛装工件的转盘、编码器、控制装置（计算机）、电动机、传动机构等组成。

系统将编码器与转盘、转轴同轴相连。转盘上每个工件（如图 3-28 中 1~8 号工件）的位置都有一个编码与之相对应，编码器在每一个转角位置 Q 上都有一个相应的固定的编码输出。

当控制装置控制电动机通过传动机构（皮带轮与皮带）带动转轴、转盘旋转时，由于转轴、转盘与编码器同轴相连，使编码器输出编码也随之变化。当加工到某工件时，转盘将工件转到加工点，编码器输出编码给控制装置使电动机停转，然后刀具对工件进行加工。

## 3.2.3 速度传感器

速度传感器将机械的旋转运动（即转速）转换成相应的电信号输出。

速度传感器主要有测速发电机、速度计、旋转编码器、霍尔速度传感器等。几种速度传感器的外形如图 3-29 所示。





图 3-29 几种速度传感器

由于角速度是单位时间内的相对角位移，旋转编码器既可检测角位移，也可检测角速度。

霍尔速度传感器的结构原理如图 3-30 所示。齿轮的转动会影响整个磁路的分布，从而使磁通量  $B$  发生变化，见图 3-30 (b)、(c)。再通过绕组产生相应的感应脉冲信号，就可实现测量角速度或角位移的目的。

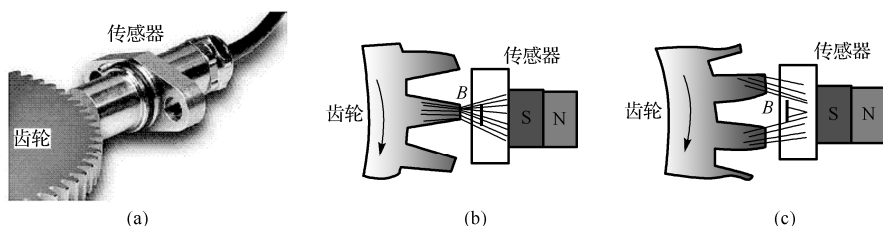


图 3-30 霍尔速度传感器的结构原理

### 【例 3-5】数控车床进给速度检测装置

数控车床进给速度检测装置如图 3-31 所示。

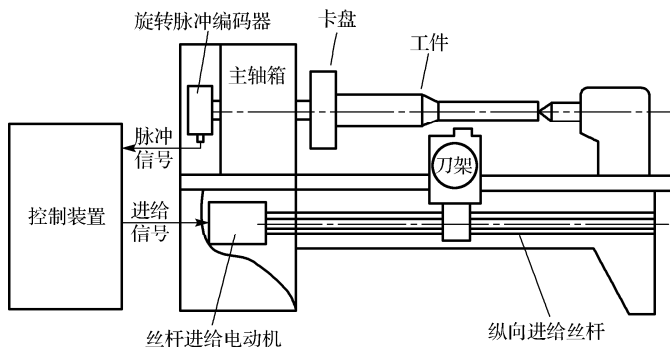


图 3-31 数控车床进给速度检测装置

将旋转脉冲编码器安装在数控车床的主轴上，用于检测主轴的转速。当电动机拖动主轴旋转时，旋转脉冲编码器将旋转的速度转换成脉冲信号，经控制装置后输出进给控制信号给丝杆进给电动机，控制数控车床纵向进给速度，以实现工件的加工。

## 3.2.4 温度传感器与压力传感器

### 1. 温度传感器

温度传感器将温度的变化转换成相应的信号输出。温度传感器包括热继电器、热电偶、电阻线测温计等，如图 3-32 所示。

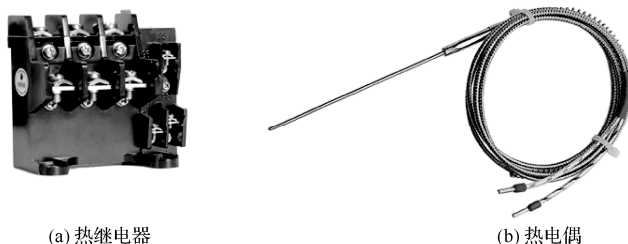


图 3-32 温度传感器

### 【例 3-6】热电偶检测器

将两种不同材质的导体构成一个闭合回路，当两接点的温度不相同时，在闭合回路中会产生相应的电动势和电流，其大小与两导体的材质及两接点的温度有关，而与闭合回路的形状、大小无关，这种现象称为热电效应。热电偶就是利用这一效应进行温度的检测的。

热电偶检测器的结构及原理如图 3-33 所示。

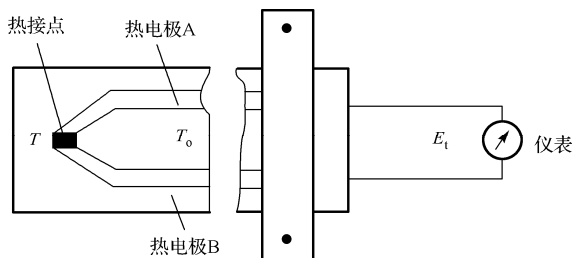


图 3-33 热电偶检测器

检测器将两种不同材料的导体作为热电极 A 和 B，两热电极 A 和 B 的焊接连接点为热接点（又称为热端），另一端开路并通过导线与仪表连接，称为冷端；当冷端的温度  $T_0$  固定，把热端放进被测量的温度  $T$  环境下， $T$  与  $T_0$  存在温度差时，根据热电效应，闭合回路中就会产生电动势  $E_t$  和电流，通过仪表反映出温度值，从而完成温度的检测。

## 2. 压力传感器

压力是机电控制系统中常常需要检测的一个物理量，因此压力传感器也是常用的传感器之一。

压力传感器包括压电式、压阻式、应变式等。压力传感器的外形如图 3-34 所示。

### 1) 压电式压力传感器

压电式压力传感器是利用压电元件（如石英晶体、压电陶瓷等特殊材料）在受到外部压力作用时会产生电极化现象的特点，并在其表面产生电荷的压电效应来检测压力的传感器，如图 3-35 所示。

### 2) 压阻式压力传感器

压阻式压力传感器利用固体受到外压力后，其电阻率会发生变化的特性来实现检测的目的。

半导体压阻效应是指当半导体材料（如硅、锗等）在某一方向上受力时，它的电阻率将发生显著变化的现象，如图 3-36 所示。



图 3-34 压力传感器的外形

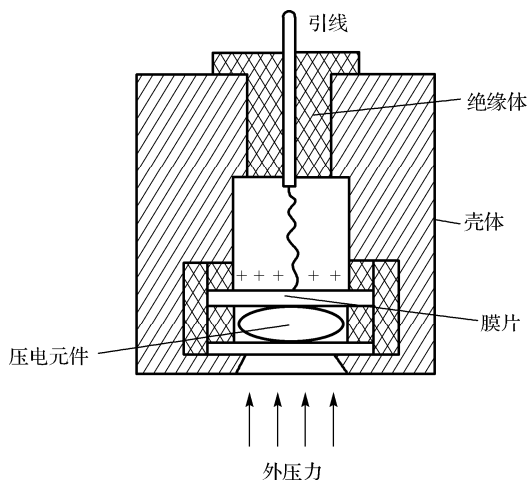


图 3-35 压电式压力传感器结构示意图

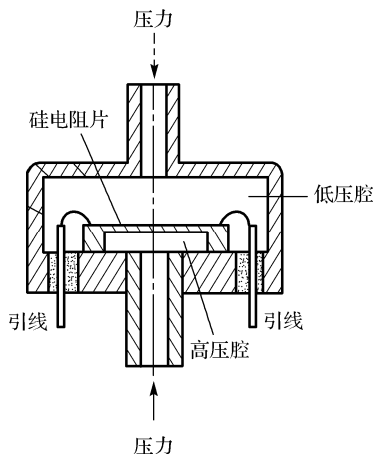


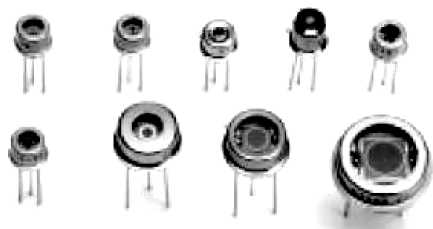
图 3-36 压阻式压力传感器结构示意图

### 3.2.5 其他传感器

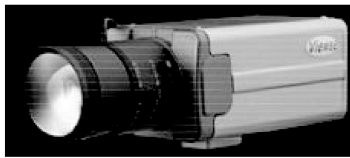
#### 1. 光量传感器

光量传感器将光转换成相应的信号输出。

光量传感器包括光电二极管、光电三极管、光导摄像管、CCD 图像传感器等，如图 3-37 所示。



(a) 光电二极管、光电三极管



(b) CCD图像传感器

图 3-37 光量传感器

#### 【例 3-7】CCD 图像传感器实例——邮政编码识别系统

CCD 图像传感器实例——邮政编码识别系统。

邮政编码识别系统如图 3-38 所示。

邮政编码识别系统由 CCD 图像传感器（包含 CCD 芯片和光学聚焦镜头）、预处理器、控制器（计算机）、分类机构、移动式多格分类箱、传送带等组成。

当信件随着传送带移动时，光学镜头将信件的编码数字成像聚焦在 CCD 芯片上。编码数字信号经预处理和细化处理后与控制装置（计算机）中所存储的数字特征比较，并识别出数字。再由控制装置（计算机）控制分类机构，分类机构控制分类箱移动，从而使信件送入相应的分类箱中。

#### 2. 流量传感器

流量传感器是检测流量的传感器，如图 3-39 所示。

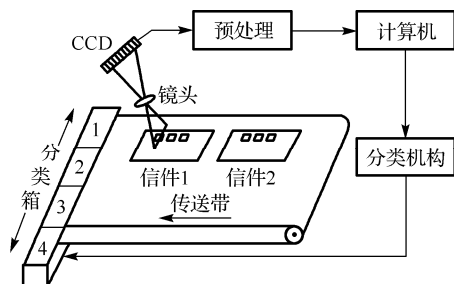


图 3-38 邮政编码识别系统



图 3-39 流量传感器



## 3.3 应用实例

在国家的电力、石油、钢铁、化工、机械加工等各个行业甚至国民生活中，都广泛使用了检测与传感技术，各种传感器及自动检测装置大量应用于监视与监控生产、生活的各个环节，它们每时每刻按要求完成对各种信息的检测，再将测得的结果经过各种各样的控制器进行处理，实现工业生产、人民生活等过程中的质量、要求等的控制。

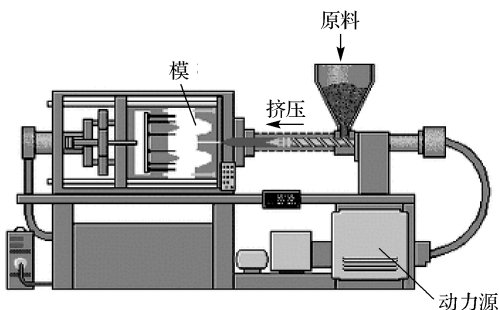
### 3.3.1 注塑机

注塑机是将热塑性塑料或热固性塑料利用塑料成形模具制成各种形状的塑料制品的主要成形设备。

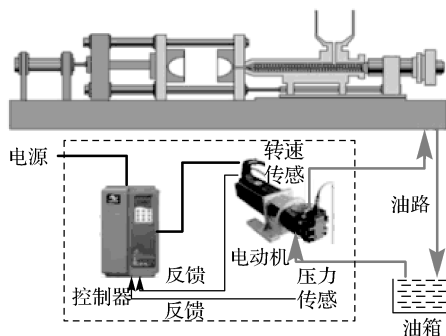
注塑机及其系统如图 3-40 所示。



(a) 注塑机



(b) 成形工艺流程



(c) 控制系统

图 3-40 注塑机及其系统



### 3.3.2 供水系统

以往高层供水是在顶层设置水箱，将水抽到水箱里存储，住户使用的是水箱里的水。这种方法因为水的存储而不能保证水质，所以以前的人都不爱住高层。现在高层供水主要采用的是水泵加压，就是在楼下（地下室）安装水泵，在市政供水压力足够的楼层（通常6层以下）采用市政水，以上的楼层通过水泵加压供水。这种方法避免了水的污染变质，所以比较受用户欢迎。

供水系统如图 3-41 所示。

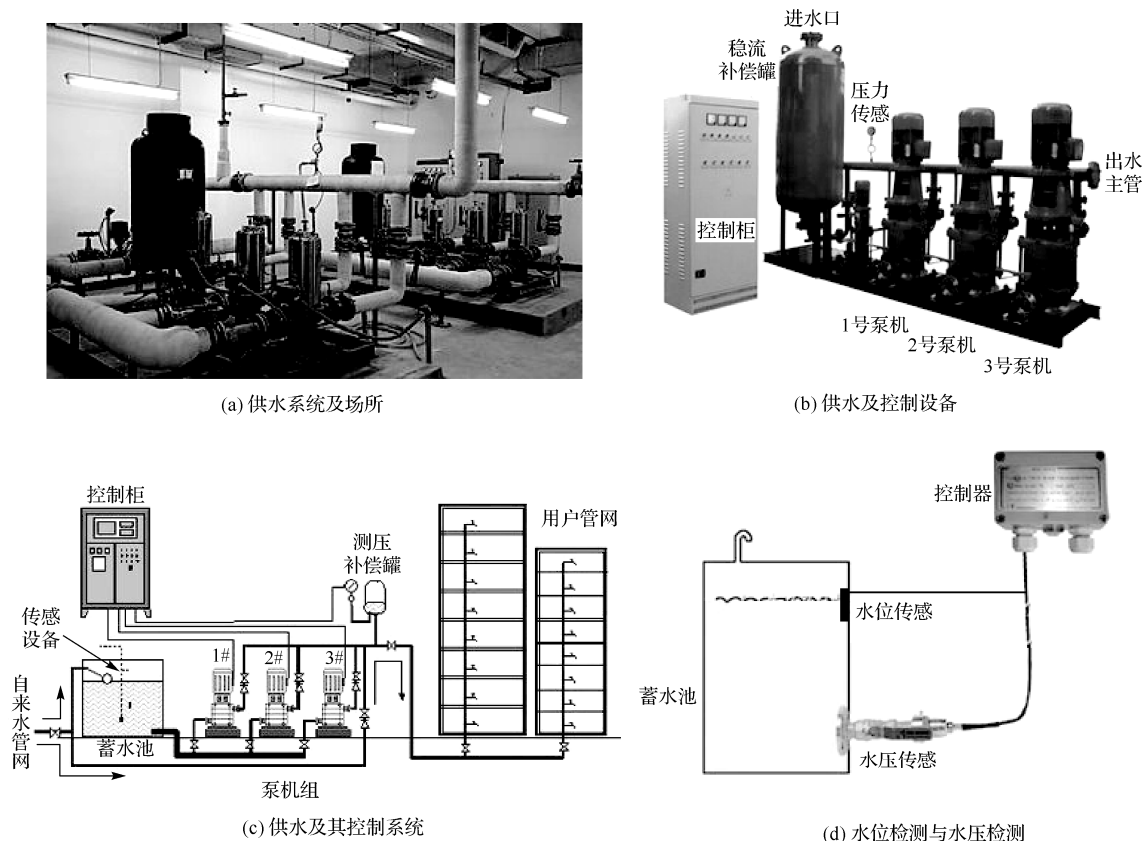


图 3-41 供水系统

### 3.3.3 小汽车

现代汽车技术发展的特征之一就是越来越多的部件采用电子控制及传感技术；汽车传感器是汽车计算机系统的输入装置，它把汽车运行中的各种工况信息，如车速、各种介质的温度、发动机运转工况等，转化成电信号传输给计算机，以便发动机处于最佳工作状态。

根据传感器在汽车中的作用不同，可分为测量距离、速度（加速度）、位置、压力、温度、流量等功能的传感器。小汽车的检测系统（部分）如图 3-42 所示。

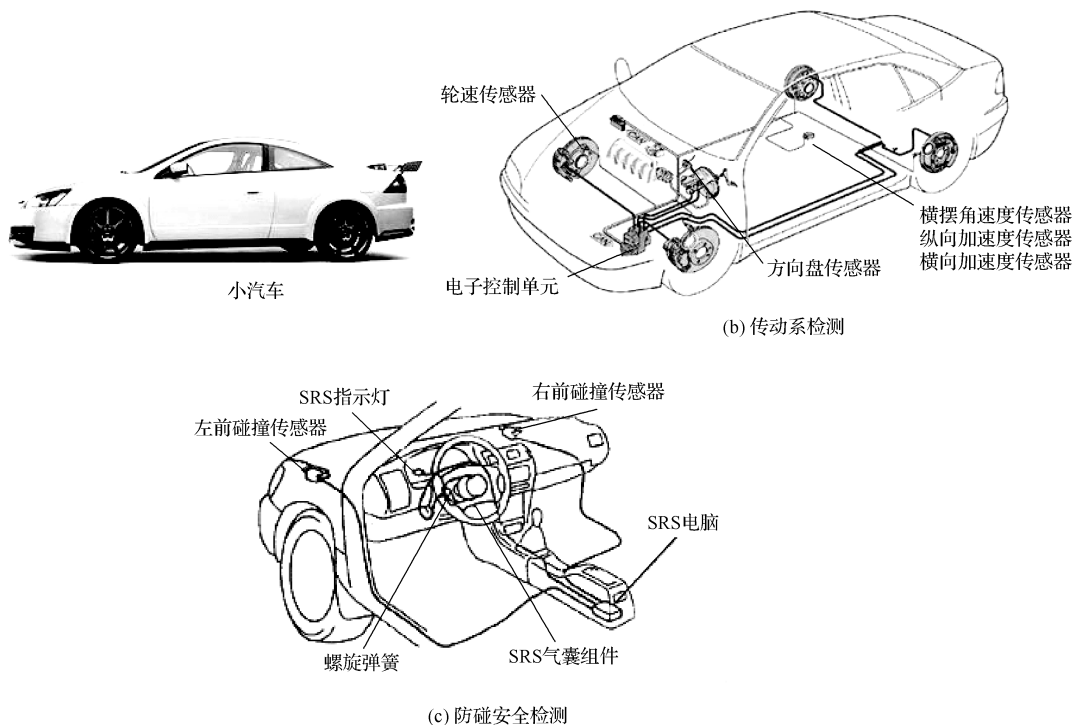


图 3-42 小汽车的检测系统（部分）

## 本章小结

- 检测技术是机电及自动化控制系统中不可缺少的关键技术之一。通过检测能够进行信息的获取、信息的转换、信息的传递及信息的处理等功能。
- 检测系统一般由传感器、放大电路、其他装置等部分构成。
- 完成检测这一任务的就是传感器。所以，传感器能将各种非电量（如机械量、化学量、生物量、光学量等）变换成电量，实现非电量的检测和传感技术。
- 传感器是能感受规定的被检测量并按照一定规律转换成可输出信号的器件或装置。因此，在机电技术及其系统中的传感器是一种能够检测出各种各样的物理量或化学量等，并转换成相应电信号的部件或装置。
- 位置传感器通过检测或感受以确定被测物体是否达到所需的位置，并输出开关量信号使系统的运行状态发生变化，达到限制机械运动或实现控制的目的。
- 接近开关是一种非接触性的检测开关，它是无须与运动部件发生机械接触就能实现工作的位置开关。
- 位移传感器检测的是被测物体的运动（一段距离）变化量，为此需要产生连续变化的模拟量。
- 感应同步器是一种电磁式的检测传感器。它利用两个平面形状的线圈（绕组）的互感随位置的移动或变化而变化的原理来实现将直线位移或角位移变换成电信号输出，以作为反馈。



- 由于编码器具有非接触、体积小、分辨率高等特点，因此是目前应用最为广泛的角位移传感器。
- 速度传感器将机械的旋转运动（即转速）转换成相应的电信号输出。
- 温度传感器将温度的变化转换成相应的信号输出。



## 习 题 3

### 一、单选题

1. 为使机电控制系统在正常或最佳的状态下工作，有必要检测系统的灵敏性、（ ）、反应性、准确度等性能。  
A. 短路性      B. 短接性      C. 可靠性      D. A 和 B
2. 检测系统一般由（ ）、放大电路、其他装置等构成。  
A. 传感器      B. 感温头      C. 感温包      D. 感温囊
3. （ ）的作用是将被测量变换为相应的电量。  
A. 放大电路      B. 其他装置      C. 传感器      D. 附件
4. 根据传感器输出信号的性质不同可分为（ ）传感器、数字量传感器、开关量传感器等。  
A. 模拟量      B. 脉冲量      C. 线性量      D. 指数量
5. 开关量传感器是指传感器输出（ ）的状态信号。  
A. 0      B. 1      C. 大于 0，小于 1      D. A 或 B
6. 接触式传感器是一种接触性的（ ）开关  
A. 模拟量      B. 非线性量      C. 线性量      D. 检测
7. 非接触式位置传感器利用传感器对接近物体所具有的（ ）特性来达到控制的目的。  
A. 磁电      B. 电磁      C. 敏感      D. 热效应
8. 电感式接近开关由（ ）、信号处理电路、放大输出电路等组成。  
A. 敏感器      B. 振荡器      C. 低频 RC 振荡器      D. 高频 LC 振荡器
9. 电容式接近开关由（ ）、信号处理电路、放大输出电路等组成。  
A. 敏感器      B. 振荡器      C. 低频 RC 振荡器      D. 高频 LC 振荡器
10. 光电开关是利用（ ）实现控制目的的开关。  
A. 电光效应      B. 光电效应      C. 敏感效应      D. 热效应
11. 磁性开关可应用于检测（ ）物体。  
A. 磁性      B. 金属      C. 液体      D. 所有
12. 三线接近开关的输出引线为电源正极、输出常开、电源负极，其颜色依次表示为（ ）。  
A. 黑、棕、蓝      B. 蓝、棕、黑  
C. 棕、蓝、黑      D. 棕、黑、蓝

13. 感应同步器是（ ）传感器类型。  
A. 直线位移      B. 角位移      C. 曲线位移      D. 折线位移
14. 光电编码器的作用是通过光电转换，将被测物体输出轴的（ ）转换成相应的电脉冲输出。  
A. 角速度      B. 角位移      C. 直线位移      D. A 和 B
15. 光电编码器按信号原理分为（ ）编码器和绝对式编码器。  
A. 直线式      B. 相对式      C. 增量式      D. 减量式
16. 温度传感器包括（ ）、热电偶、电阻线测温计等。  
A. 中间继电器      B. 交流接触器      C. 时间继电器      D. 热继电器

## 二、判断题

1. 检测技术及其系统在机电控制系统中是关键、重要的部分。 ( )
2. 检测系统一般由感温头、放大电路、其他装置等构成。 ( )
3. 检测技术的动态指标包括响应速度、频率响应等。 ( )
4. 传感器一般由敏感元件、转换元件等基本元件组成。 ( )
5. 传感器能将各种电量变换成非电量。 ( )
6. 数字量传感器是指传感器输出没有幅值意义的脉冲信号。 ( )
7. 接近开关是一种接触性的检测开关。 ( )
8. 电感式接近开关适用于检测非金属物体或导电体。 ( )
9. 电容式接近开关适用于检测金属物体、导电体、液体和一些非金属物体等。 ( )
10. 光电开关适用于检测透光或能反射光的物体。 ( )
11. 反射式光电开关是通过反光镜的反射光线而动作的。 ( )
12. 磁性开关是利用磁性作为敏感元件的接近开关。 ( )
13. 位置传感器的作用是检测被测物体是否到达某一位置而产生信号。 ( )
14. 编码器是用来测量直线位移的装置。 ( )
15. 光电编码器类似于一台微型电动机。 ( )
16. 温度传感器将温度的变化转换成相应的信号输出。 ( )
17. 热电偶是利用电磁效应进行温度的检测的。 ( )

## 三、多选题

1. 通过检测能够进行或完成信息的（ ）等功能。  
A. 获取      B. 转换      C. 传递      D. 遥控  
E. 遥测      F. 响应      G. 变电      H. 处理
2. 检测技术的静态指标包括（ ）等。  
A. 响应速度      B. 频率响应      C. 准确度      D. 灵敏度  
E. 分辨能力      F. 分辨率      G. 可靠性      H. 扩容性
3. 按传感器的用途可分为（ ）等传感器。  
A. 位移      B. 位置      C. 速度      D. 压力





- E. 温度                  F. 流量                  G. 模拟量                  H. 数字量
4. 非接触式位置传感器常见的有（ ）等类型。
- A. 电阻式传感器                  B. 电容式传感器                  C. 电感式传感器  
D. 压力式传感器                  E. 温度式传感器                  F. 流量式传感器  
G. 光电式传感器                  H. 磁性式传感器
5. 光电开关可分为（ ）等类型。
- A. 直射式                  B. 对射式                  C. 斜射式                  D. 曲折式  
E. 漫射式                  F. 反射式                  G. 曲线式                  H. 投射式
6. 三线接近开关的输出引线为输出常开、电源正极、电源负极，其颜色表示为（ ）。
- A. 黄                  B. 蓝                  C. 紫                  D. 黑  
E. 绿                  F. 灰                  G. 棕                  H. 黑白双色
7. 速度传感器主要有（ ）等。
- A. 旋转电动机                  B. 测速发电机                  C. 旋转编码器                  D. 变压器  
E. 位置开关                  F. 速度计                  G. 位置传感器                  H. 霍尔速度传感器

#### 四、分析题

1. （ ）传感器通过检测或感受以确定（ ）是否到达所需的位置，并输出（ ）信号使系统的运行状态发生变化，达到限制机械运动或实现控制的目的。
- A. 被测物体                  B. 开关量                  C. 位置
2. 电感式接近开关的基本原理是利用（ ）在靠近开关时，由开关内的（ ）内部产生（ ），该（ ）反馈到接近开关，使开关内部的（ ）发生变化，由此识别出有无金属物体移近进而控制系统的工作。
- A. 高频磁场                  B. 金属物体                  C. 电路参数  
D. 涡流                  E. 高频振荡器
3. 对射式光电开关的基本原理：当被测物体通过时，由于（ ）发出的光线被遮断，使（ ）无法接收光线，从而动作，输出（ ）。
- A. 受光接收器                  B. 控制信号                  C. 光发射器
4. 热电效应是指将两种不同材质的（ ）构成一个（ ）回路，当两接点的温度不相同，在（ ）回路中就会产生相应的电动势和（ ），其大小与两导体的材质及两接点的（ ）有关，而与闭合回路的（ ）无关。
- A. 闭合                  B. 温度                  C. 形状、大小  
D. 电流                  E. 导体

# 第 4 章 微型计算机工业

## 控制系统

### 学习目标

本章主要讲述的是机电控制技术及其自动化控制系统中普遍应用的以微型计算机为主体的控制系统。通过本章的学习，应能掌握工控机、单片机、可编程控制器中的有关概念及其系统的基本构成，明确工控机、单片机、可编程控制器的应用，了解工控机、单片机、可编程控制器三者的区别，并通过训练加深理解，掌握对各种控制系统的使用及有关的规则。

### 主要内容

- 微机工业控制系统。
- 单片机控制系统。
- 可编程控制器控制系统。



## 4.1 微机工业控制系统

要使机电控制系统及其自动化控制中各组成部分能够协调一致地工作，就必须有一个良好的控制系统进行统一指挥，因此控制系统是每一个机电控制系统及其自动化控制中的主要核心。

### 4.1.1 微机工业控制系统的概念

随着计算机的飞速发展和自动化程度的不断提高，各种设备及技术对微型计算机的控制应用越来越广泛。

工业控制计算机也称作工控机（Industrial Personal Computer, IPC），是一种采用总线结构，对生产过程及机电设备、工艺装备进行检测与控制的工具总称，是在 20 世纪 80 年代初期通用计算机（微机）推广应用及为满足工业环境使用要求的前提下，以现场总线为基础发展起来的一种控制设备。因此，工控机具有重要的计算机属性和特征，如计算机 CPU、硬盘、内存、接口，并有操作系统、控制网络和协议、计算能力、友好的人机界面等。

由于工控机是专门为工业现场而设计的微型计算机，而工业现场一般震动较强烈且工



作灰尘特别多，另有很高、极强的电磁场力干扰等特点，且一般工作均是连续作业即一年中一般没有间断休息。因此，工控机与普通的通用计算机相比必须具有以下特点：

- (1) 能及时测量、处理和输出数据。
- (2) 能输入和输出电信号形式的物理量或过程信号。
- (3) 能处理数字量及开关量信号。
- (4) 机箱应采用钢结构，具有较高的防磁、防尘、防冲击的能力。
- (5) 机箱内设有专门电源，电源应具有较强的抗干扰能力。
- (6) 要求具有连续长时间工作能力。
- (7) 可靠性要高。
- (8) 配置硬盘容量要小、数据安全性较低、存储选择性小、价格较高。

目前，IPC 已被广泛应用于工业及人们生活的方方面面。例如，控制现场、路桥收费、医疗、环保、通信、智能交通、监控、语音、排队机、POS 机、数控机床、加油机、金融、石化、物探、野外便携、环保、军工、电力、铁路、高速公路、航天、地铁等。

#### 【例 4-1】银行工控机系统

如图 4-1 所示为银行工控机系统在现场监控。

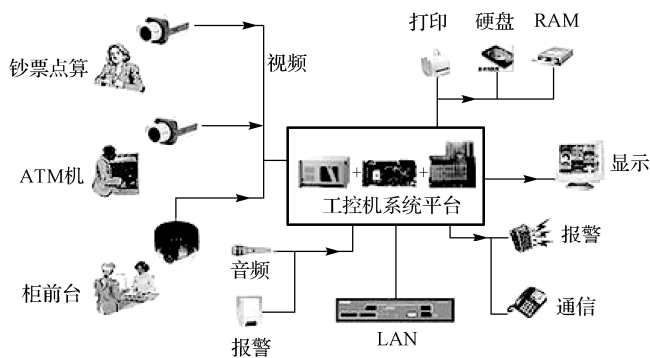


图 4-1 银行工控机系统

### 4.1.2 工控机的构成及分类

#### 1. 工控机的构成

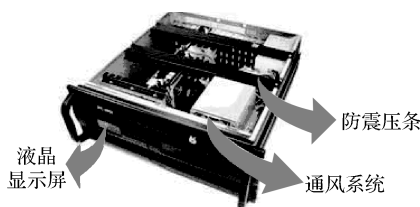
典型的工控机是由主机、输入接口模块、输出接口模块、通信接口模块、信号调理单元、远程采集模块、工控软件包等部分构成的。

(1) 工控机主机。如图 4-2 所示，包括主板、显示卡、无源多槽 ISA/PCI 底板、机箱等。

① 工控机的核心部件是主板，如图 4-3 所示。其所采用的元器件应满足工业环境，并且是一体化的。采用 (ALL-IN-ONE) 主板，易于更换。

② 显示卡，要求具有 SVGA 以上。

③ 无源多槽 ISA/PCI 底板的插槽由 ISA 和 PCI 总线的多个插槽组成，ISA 或 PCI 插槽的数量和位置可根据需要选择；该板为多层结构，中间层分别为地层和电源层，采用这种结构方式可以减弱板上逻辑信号的相互干扰并降低电源阻抗。底板可插接各种板卡，包括 CPU 卡、显示卡、控制卡、I/O 卡等。



(a) 研祥 IPC-820 工控机主机

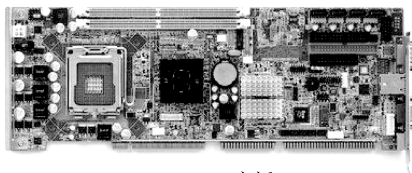


(b) 西门子 547ECO 工控机主机

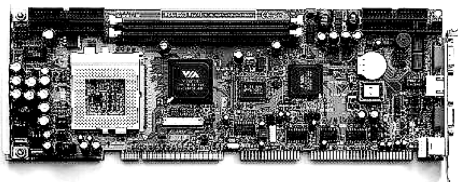


(c) 研华 IPC-610 工控机主机

图 4-2 几种工控机主机



(a) PCA-6010 主板



(b) 研华 6003 主板

图 4-3 工控机主板

④ 机箱采用加固型工业机箱（全钢机箱）。由于工控机应用于工业环境，因此机箱必须采取一系列加固措施，以达到防震、防冲击、防尘、抗电磁干扰的目的，且能适应宽的温度和湿度范围。机箱内具有正的空气压力和良好的屏蔽。

⑤ 电源采用工业电源，抗干扰能力强，防冲击，有过压、过流保护，达到电磁兼容性标准。如 AT 开关电源，平均无故障运行时间可达 250 000h。

(2) 输入接口模块。包括模拟量输入、开关量输入、频率量输入等。

(3) 输出接口模块。包括模拟量输出、开关量输出、脉冲量输出等。

(4) 通信接口模块。包括串行通信接口模板（RS232、RS422、RS485 等）与网络通信模板（ARCNET 网板或 Ethernet 网板），还需配现场总线通信板等。

(5) 信号调理单元。这是工控机很重要的一部分，信号调理单元对工业现场各类输入信号进行预处理，包括对输入信号的隔离、放大、多路转换、统一信号电平等的处理，对输出信号进行隔离、驱动、电压转换等。该单元由各类信号调理模块或模板构成，安装在信号调理机箱中，该机箱具有单独的供电电源。信号调理单元的输出连接到主机相应的输入模板上，主机输出接口模块的输出连接到信号调理单元输出调理模块或模板上。一般信号调理模块本身均带有与现场连接的接线端子，现场输入/输出信号可直接连接到信号调理模块的接线端子上。

(6) 远程采集模块。近几年发展了各类数字式智能远程采集模块。该模块体积小、功能强，可直接安装在现场一次变送器处，将现场信号直接就地处理，然后通过现场总线 FieldBus 与工控机通信连接。



目前使用较好的现场总线类型有 CAN 总线、LonWorks 总线、Profibus、CCLink 总线及 RS485 串行通信总线等。工控机采用的是标准总线，如 ISA 总线、PCI 总线等。

(7) 工控软件包。它支持数据采集、控制、监视、画面显示、趋势显示、报表、报警、通信等功能。如图 4-4 所示，工控机必须具有相应功能的控制软件才能工作。这些控制软件有的是以 MS-DOS 操作系统为平台，有的是以 Windows 操作系统为平台，有的是以实时多任务操作系统为平台，选用时应根据实际控制需求而定。



图 4-4 工控软件包的作用

(8) 其他配件基本上都与 PC 兼容，主要有硬盘、软驱（一般工控机的软驱有 5.2in 和 3.5in 两种类型，还可外加一个光驱）、光驱、键盘、鼠标、显示器等，如图 4-5 所示。

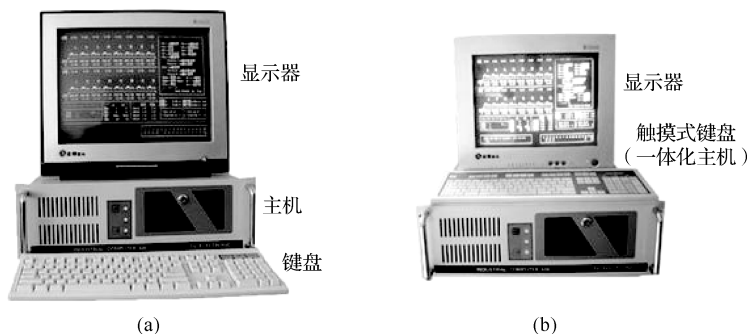


图 4-5 工控机配件

## 2. 基本分类

### 1) 按应用分类

工控机控制系统可分为工业控制功能模板、模块系列（即单板机、单片机控制）、集中型工控机系列、分散型工控机系统、可编程控制器及数控装置、工业自动测试系统等。

### 2) 按系统构成分类

工控机控制系统可分为单机型和多机型。多机型又分集中型和分散型。

### 3) 按结构层次分类

工控机控制系统可分为直接数字控制（DDC）系统、监督控制（SEC）系统、集散型控制（DCS）系统、递阶控制（HDCS）系统和现场总线控制（FCS）系统等。

其中，DCS 系统是融 DDC 系统、SEC 系统及整个工厂的生产管理于一体的高级控制系统，该系统克服了其他控制系统中存在的“危险集中”问题，具有较高的可靠性和实用性。但是，为了进一步适合现场的需要，DCS 也在不断更新换代。近年来，集计算机、通

信、控制三种技术为一体的第 5 代过程控制体系结构，即现场总线控制系统，成为国内外计算机过程控制系统一个重要的发展方向。

## 4) 按所采用的总线标准类型分类

工控机控制系统可分为以下几种。

(1) PC 总线工控机。有 ISA 总线、VESA 局部总线 (VL-BUS)、PCI 总线、PC104 总线等几种类型工控机，主机 CPU 类型有 Intel 80386、Intel 80486、Pentium 等。

(2) STD 总线工控机。它采用 STD 总线，主机 CPU 类型有 Intel 80386、Intel 80486 等，另外与 STD 总线相类似的还有 STE 总线工控机。

(3) VME 总线工控机。它采用 VME 总线，主机 CPU 类型以 Motorola M68000、M68020 和 M68030 为主。

(4) 多总线工控机。它采用 MultiBus 总线，主机 CPU 类型有 Intel 80386、Intel 80486 和 Pentium 等。

## 4.1.3 典型的工控机系统及其构成

### 1. 直接数字控制 (DDC) 系统

直接数字控制 (Direct Digit Control, DDC) 系统，简称为 DDC 系统，使用一台计算机对被控参数进行检测，再根据设定值和控制算法进行运算，然后输出到执行机构对生产进行控制，使被控参数稳定在给定值上。由于在这类系统中，计算机的输出直接作用于控制对象，故称为直接数字控制。DDC 系统框图如图 4-6 所示。

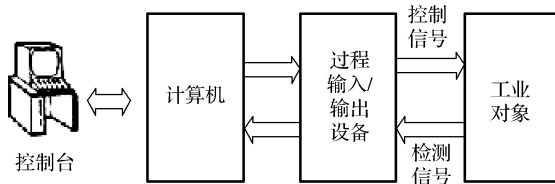


图 4-6 DDC 系统框图

另外，利用计算机的分时处理功能可直接对多个控制回路实现多种形式的控制，称为多功能数字控制系统。多功能数字控制系统框图如图 4-7 所示。

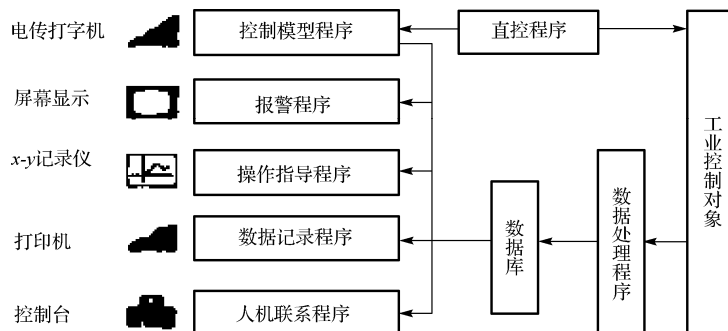


图 4-7 多功能数字控制系统框图

DDC 系统是计算机用于工业生产过程控制的最典型的一种系统，目前广泛应用于材料热加工、化工、机械、冶金等部门。



DDC 系统是一种闭环控制系统。系统中的计算机完成闭环控制，在系统中，由一台计算机通过多点巡回检测装置对过程参数进行采样，并将采样值与存于存储器中的设定值进行比较，再根据两者的差值和指定控制规律的控制算法进行分析和计算，以形成所要求的控制信息，然后将其传送给执行机构，用分时处理方式完成对多个单回路的各种控制（如比例积分微分、前馈、非线性、适应等控制）。它不仅能完全取代模拟调节器，实现多回路的 PID（比例—积分—微分）调节，而且不用改变硬件，只通过改变程序就能实现各种较复杂的控制，如前馈控制、非线性控制、自适应控制、最优控制、模糊控制等。

DDC 系统具有在线实时控制、分时方式控制、灵活性和多功能性等特点。

#### 1) 在线实时控制

DDC 系统是一种在线实时控制系统。在线控制指受控对象的全部操作（反馈信息检测和控制信息输出）都是在计算机直接参与下进行的，无须系统管理人员干预，又称联机控制。实时控制是指计算机对于外来信息的处理速度，足以保证在所容许的时间区间内完成对被控对象运动状态的检测和处理，并形成和实施相应的控制。这个容许时间区间的大小要根据被控过程的动态特性来决定。对于一个快速的被控过程，容许时间区间较小；对于慢的被控过程，容许时间区间较大。计算机还应当配有实时时钟和完整的中断系统，并应有相当高的可靠性，以满足实时性要求。一个在线系统不一定是实时系统，但是一个实时系统必定是在线系统。

#### 2) 分时方式控制

DDC 系统是按分时方式进行控制的，即按照固定的采样周期时间对所有的被控制回路逐个进行采样，并依次计算和形成控制输出，以实现一个计算机对多个被控回路的控制。计算机对每个回路的操作分为采样、计算、输出三个步骤。为了增加控制回路（采样时间不变）或缩短采样周期（控制回路数一定），以满足实时性要求，通常将三个步骤在时间上交错安排。例如，对第一个回路进行输出控制时，可同时对第二个回路进行计算处理，而对第三个回路进行采样输入。这既能提高计算机的利用率，又能缩短对每个回路的操作时间。

#### 3) 灵活和多功能控制

DDC 系统的特点是具有很大的灵活性和多功能控制能力。系统中的计算机起着多回路数字调节器的作用。通过组织和编排各种应用程序，可以实现任意的控制算法和各种控制功能，具有很大的灵活性。DDC 系统所能完成的各种功能最后都集中到应用软件里，如直控程序、报警程序、操作指导程序、人机联系程序、数据记录程序等。这些程序平时存储在数据库中，使用时再从库里调出。

总之，直接数字控制系统的最大特点是具有很大的灵活性和多功能控制能力。系统中的计算机起着多回路数字调节器的作用，通过组织和编排各种应用程序，可以实现任意的控制算法和各种控制功能，具有很大的灵活性。

#### 【例 4-2】中央空调 DDC 系统

如图 4-8 所示为中央空调 DDC 系统方案。

### 2. 集散型控制（DCS）系统

集散型控制系统又称分布式控制系统或分散式控制系统。集散型控制（Distributed Control System, DCS）系统，简称为 DCS 系统。DCS 系统利用计算机技术对生产过程进行集中监测、

操作、管理和分散控制，它是由计算机技术、信号处理技术、测量控制技术、通信网络技术、CRT 技术、图形显示技术及人机接口技术相互渗透发展而产生的一种新型控制技术。

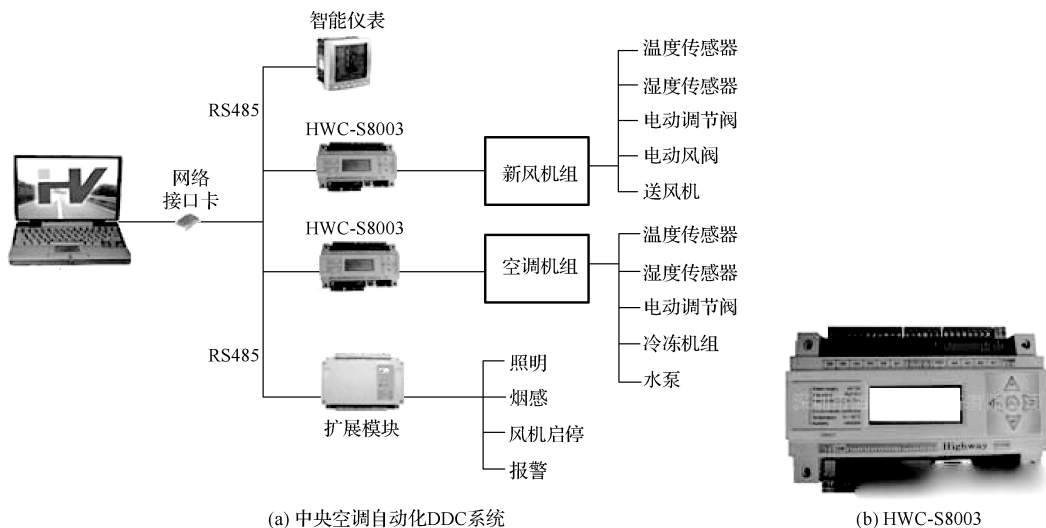


图 4-8 中央空调 DDC 系统方案

DCS 系统是相对于集中式控制系统而言的一种新型计算机控制系统。它是一个由过程控制级和过程监控级组成的以通信网络为纽带多级计算机系统，综合了计算机 (Computer)、通信 (Communication)、显示 (CRT) 和控制 (Control) 于一体的 4C 技术，其基本思想是分散控制、集中操作、分级管理、配置灵活、组态方便等。

DCS 系统结构采用的是“三点一线”式结构。“一线”是指 DCS 系统的骨架——计算机网络；“三点”是指连接在网络上的三种不同类型的节点，即面向被控过程现场的现场 I/O 控制站、面向操作人员的操作员站、面向 DCS 监督管理人员的工程师站，如图 4-9 所示。

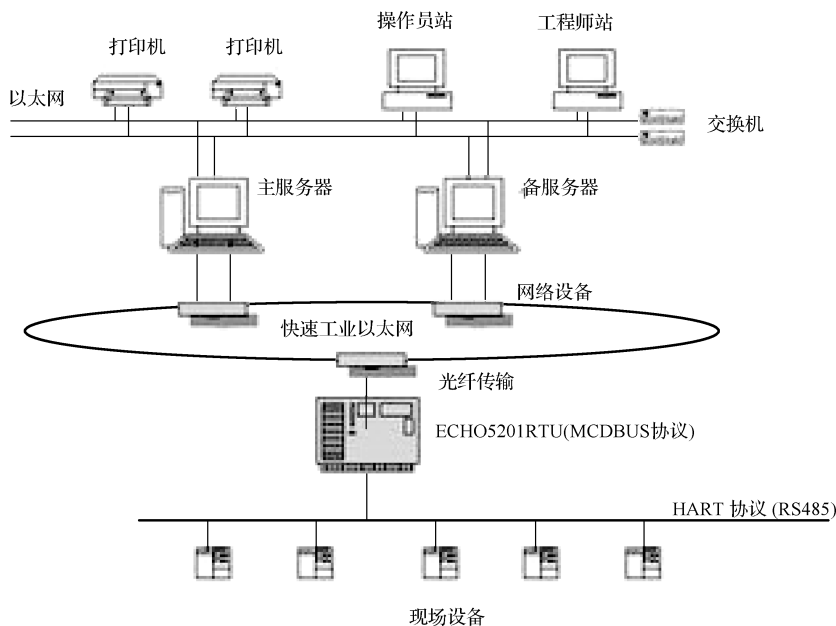


图 4-9 DCS 系统结构





一般情况下, DCS 由三种节点组成, 即现场 I/O 控制站、操作员站和工程师站, 通过局域网络互联在一起形成一个系统。因此, 一个 DCS 系统只需配备一个工程师站即可, 而现场 I/O 控制站和操作员站的数目则需根据实际需要配置。这三种节点通过系统网络进行连接并互相交换信息, 协调各方面的工作, 共同完成 DCS 的整体功能。

DCS 系统具有通用性强、系统组态灵活、控制功能完善、数据处理方便、显示操作集中、人机界面友好、安装简单规范化、调试方便、运行安全可靠的特点, 能提高各种生产过程的生产自动化水平和管理水平, 提高产品质量, 降低能源消耗和原材料消耗, 提高劳动生产率, 控制环境污染、改善劳动条件、保证生产安全可靠等, 还可促进工业技术发展, 创造最佳的经济效益和社会效益。

#### 【例 4-3】FB-2000 DCS 分散型控制系统

FB-2000 DCS 分散型控制系统是一套运用现场总线 (FieldBus) 技术的 DCS 系统, 其提供了先进的功能以适应各种工业环境及规模, 并具备向上兼容的可能。

FB-2000 DCS 分散型控制系统集过程控制和企业管理于一身, 不管是单一的过程装置还是整个工厂的自动化, 也不管是控制系统的局部改造还是区域的管控一体化设计, 它都能在最佳状态下投入到生产过程中, 担负起控制、管理的重任。特别是随着在控制要求增加, 系统随之扩展的情况下, 系统所具备的硬件、软件及通信等都可以使现有设备在不淘汰的情况下进行调整和扩展, 从而成为较完善的控制系统。

如图 4-10 所示为 FB-2000 DCS 分散型控制系统方案。

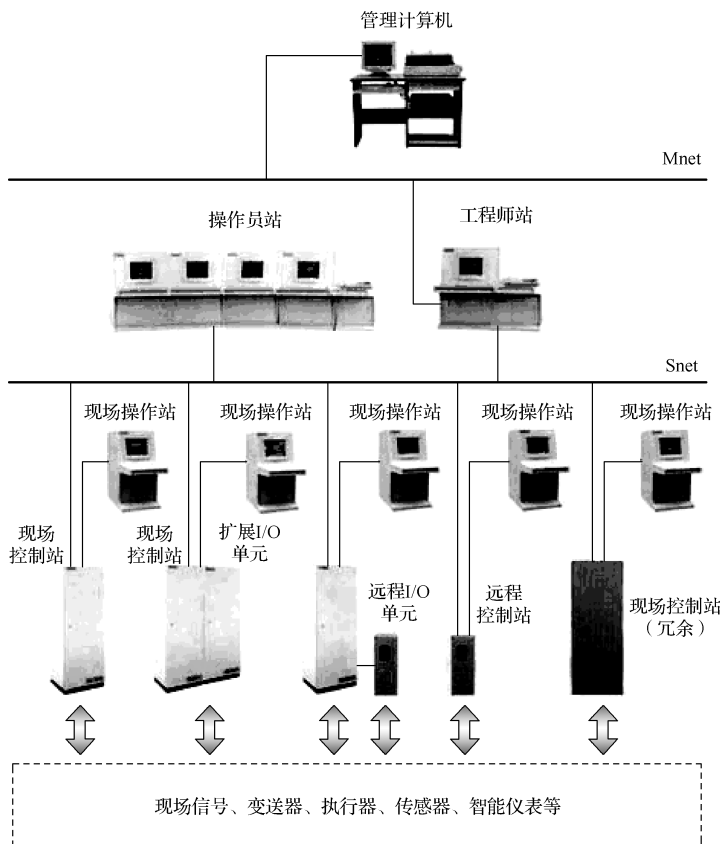


图 4-10 FB-2000 DCS 分散型控制系统方案

### 3. 现场总线控制（FCS）系统

现场总线控制（FieldBus Control System, FCS）系统，简称为 FCS 系统。它采用现场总线这一开放的、具有互操作性的网络将现场各个控制器、仪表及仪表设备等互联，构成现场总线控制系统，如图 4-11 所示。同时，控制功能彻底下放到现场，降低了安装成本和维修费用。

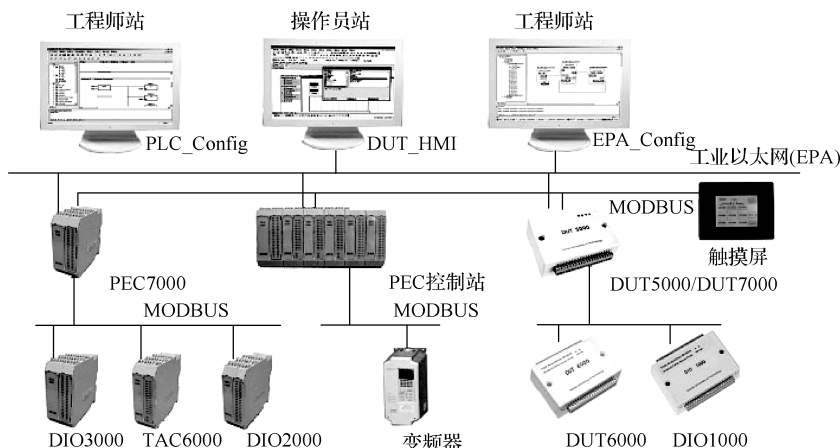


图 4-11 现场总线控制系统

从图 4-11 可见，FCS 系统兼具有 DCS 系统的特点；DCS 系统的关键是通信，也可以说数据公路（即一对绞线、同轴电缆或光纤电缆等）是 DCS 系统的脊柱。由于它的任务是为系统所有部件之间提供通信网络，因此数据公路自身的设计就决定了总体的灵活性和安全性。为了保证系统的安全性，DCS 系统使用了复杂的通信规约（所谓通信规约就是一组规则，用以保证所传输的数据被接收，并且被理解成和发送的数据一样）和检错技术。FCS 系统的关键技术要点如下。

#### 1) 总线协议，即总线标准

一种类型的总线，只要其总线协议一经确定，相关的关键技术与有关的设备也就被确定了。因此，总线协议是 FCS 系统的核心。

现场总线是安装在制造或过程区域的现场装置与控制室内的自动控制装置之间的数字式、双向传输、多分支结构的通信网络。采用双绞线、光缆或无线电方式传输数字信号，减少大量导线，提高了可靠性和抗干扰能力。FCS 系统从传感器、变送器到调节器一直是数字信号，这就使其可以很容易地处理更复杂、更精确的信号，同时数字通信的差错功能可检出传输中的误码。现场总线使测控设备具备了数字计算和数字通信能力，提高了信号的测量、传输和控制精度，提高了系统与设备的功能、性能。

#### 2) 数字智能现场装置

数字智能现场装置是 FCS 系统的硬件。控制功能下放到现场仪表中，控制室内仪表装置主要完成数据处理、监督控制、优化控制、协调控制和管理自动化等功能；而 FCS 系统执行的是自动控制装置与现场装置之间的双向数字通信现场总线信号控制，现场装置只要遵循统一的总线协议，即相关的通信规约，具备数字通信功能，就能实现双向数字通。另外，现场总线的一大特点就是要增加现场一级控制功能。因此，数字智能现场装置是 FCS 系统的基础。



### 3) 信息处理现场化

对于一个控制系统,无论是采用 DCS 还是采用现场总线,系统需要处理的信息量至少是一样多的。实际上,采用现场总线后,可以从现场得到更多的信息,现场总线系统的信息量没有减少,甚至增加了,而传输信息的线缆却大大减少了。

由现场智能仪表完成数据采集、数据处理、控制运算和数据输出等功能。现场智能仪表的数据(包括采集的数据和诊断数据)通过现场总线传送到控制室的控制设备上,控制室的控制设备用来监视各个现场智能仪表的运行状态,保存其上传的数据,同时完成少量现场智能仪表无法完成的高级控制功能。这就要求一方面要大大提高线缆传输信息的能力;另一方面要让大量信息在现场就地完成处理,减少现场与控制机房之间的信息往返。因此,现场总线的本质就是信息处理的现场化。

归纳起来,通过使用现场总线,用户可以大量减少现场接线,用单个现场智能仪表就可实现多变量通信,不同制造厂生产的装置间可以完全互操作,增加现场一级的控制功能,系统集成大大简化,并且维护十分简便。

FCS 系统具有的特点:①很好的开放性、互操作性和互换性;②全数字通信;③智能化与功能自治性;④高度分散性;⑤很强的适用性。

FCS 系统可以将 PID 控制彻底分散到现场设备中。基于现场总线的 FCS 系统又是全分散、全数字化、全开放和可互操作的新一代生产过程自动化系统,因此 FCS 系统实质上是一种开放的、具有互操作性的、彻底分散的分布式控制系统。

#### 【例 4-4】现场总线控制(FCS)系统及其在水厂中的应用

目前,现场总线类型有多种,比较典型的现场总线有 FF、ProfiBus、LonWorks、CAN、HART、CC-Link 等。

图 4-12 为现场总线(ProfiBus)的通信系统,该系统完全采用标准化结构,网络结构简单。

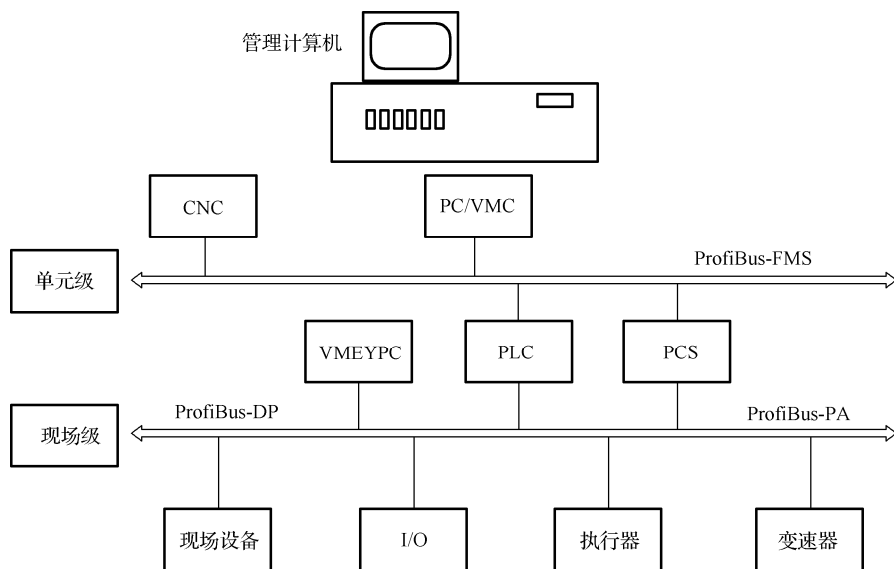


图 4-12 现场总线(ProfiBus)的通信系统

图 4-12 中, ProfiBus-FMS 是总线报文规范; ProfiBus-DP 为现场设备总线协议; ProfiBus-PA 是 ProfiBus-DP 向现场的延伸, 所不同的是其在物理层采用了 IEC1158-2 传输技术, 使测量变送器和执行机构也能够在易爆危险区域远距离地同中央自控仪表/系统通信, 且可通过现场总线馈电。

另外, ProfiBus 总线访问协议是一种混合协议, 主站之间的令牌传递方式 (Token Passing) 和主站与从站之间的主从方式 (Master-Slave), 其传输技术应用 NRZ 码、RS485, 采用双绞线、双线电缆或光缆。

FCS 系统在水厂中的应用: 笔架山水厂泵房自动化工程选用三菱公司的 CC-Link 现场网络。图 4-13 为 CC-Link 现场总线系统应用。

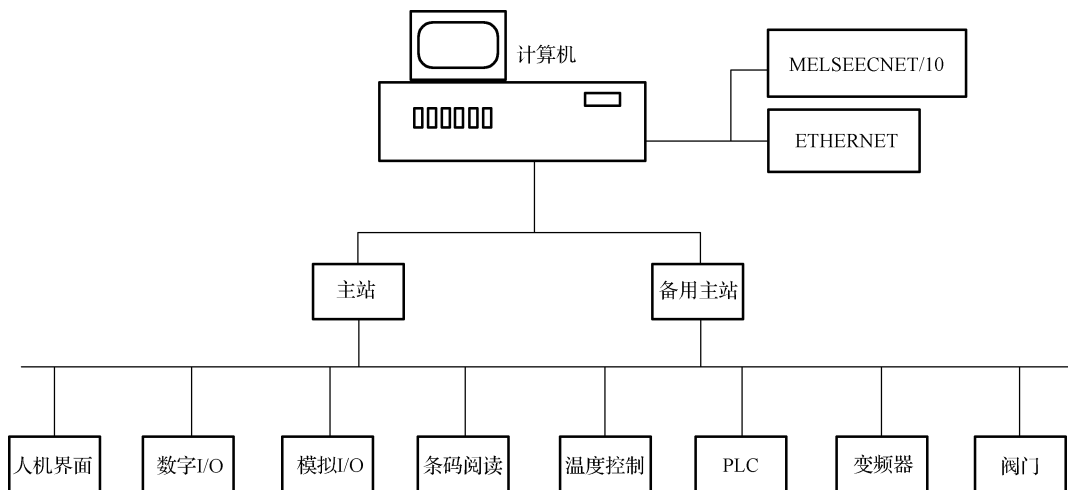


图 4-13 CC-Link 系统应用图

三菱公司的 CC-Link 现场总线产品作为主控设备, 控制硬件系统结构图如图 4-14 所示。

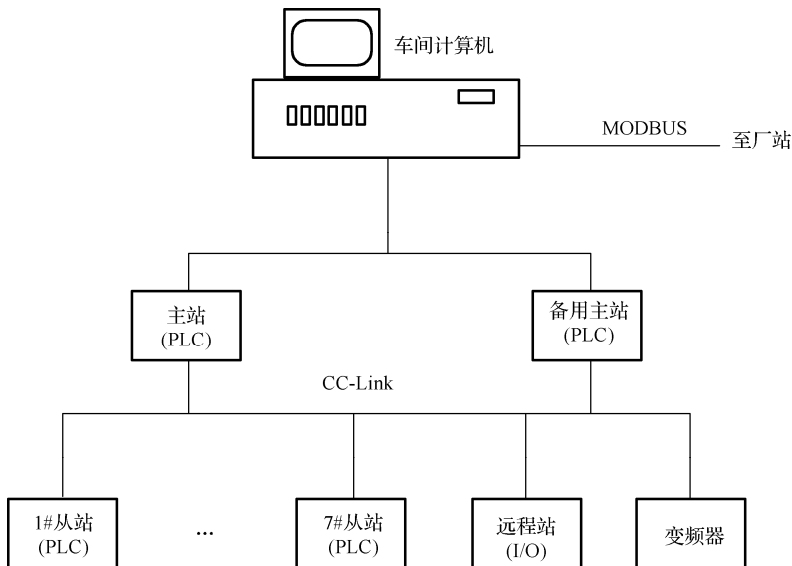


图 4-14 笔架山水厂泵房控制系统硬件结构图



在应用中,主站控制一台送水泵、两台真空泵和一台排水泵,主要监控与管理整个泵房 CC-Link 网络的情况,包括远程离线(对操作不正常的远程模块或从站自动通过网络让其离线)、自动恢复(不正常的远程模块或从站一旦恢复正常,自动与网络接上)、自动诊断(运用自检功能检查硬件及系统接线状态)、网络监视(将网络状态存储在 CPU 的寄存器中)等;并负责接收来自(从站)7 台泵的开真空泵命令、转发厂站的各泵状态、传送出厂水的水质数据及由厂站调度下达的开泵命令。

1#~3#从站各自监测和控制两台送水泵运行,接收来自主站的开泵命令及发送给主站的各泵状态数据。

4#~7#从站监测和控制配电室。对高压配电(合/分闸、变压器、电容补偿)进行监测,对低压配电(合/分闸、变压器、直流电屏)进行监测和控制。

远程 I/O 站采集部分配电参数。

#### 4. 监督控制 (SEC) 系统、递阶控制 (HDCCS) 系统

##### 1) 监督控制 (SEC) 系统

利用计算机对工业生产过程进行监督管理和控制的数字控制系统,称为计算机监督控制系统,简称监控系统 (SEC)。

监督控制系统是在操作指导系统的基础上发展起来的。操作指导系统是一种开环控制结构;系统中计算机的作用是定时采集生产过程参数,按照工艺要求或指定的控制算法求出输入/输出关系和控制量,并通过打印、显示和报警来提供现场信息,以便管理人员对生产过程进行分析或以手动方式相应地调节控制量(给定值)去控制生产过程。

监督控制系统在输入计算方面与操作指导系统基本相同,不同的是监督控制系统计算机的输出可不经过程管理人员的参与而直接通过过程通道按指定方式对生产过程施加影响。因此,监督控制系统具有闭环形式的结构,而且监控计算机具有较复杂的控制功能。它可以根据生产过程的状态、环境、条件等因素,按事先规定的控制模型计算出生产过程的最优给定值,并据此对模拟式调节仪表或下一级直接数字控制系统进行自动整定,也可以进行顺序控制、最优控制及适应控制计算,使生产过程始终处在最优工作状况下,如图 4-15 所示。

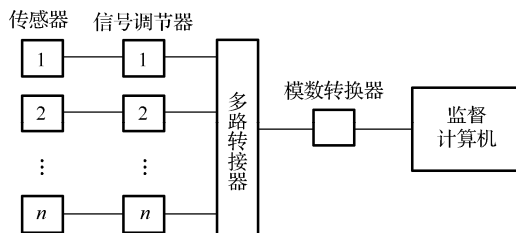


图 4-15 监督控制 (SEC) 系统

监督控制的内容极为广泛,主要包括控制功能、操作指导、管理控制和修正模型等。

##### 2) 递阶控制 (HDCCS) 系统

递阶控制 (Hierarchical and Distributed Control System, HDCCS) 系统,简称 HDCCS 系统,它属于实时控制系统 (Realtime Control System, RCS) 模块。

递阶控制 (HDCCS) 系统以对任务进行分解为基础,将一个复杂的任务分解成若干个由不同的子系统分时执行的子任务,从而达到控制目的。经过任务分解得到的控制系统包

含不同的模块（子系统），它们分层地分布于由多个计算机（具有相同或不同操作平台）组成的系统中。

如图 4-16 所示为三层结构的递阶控制系统。

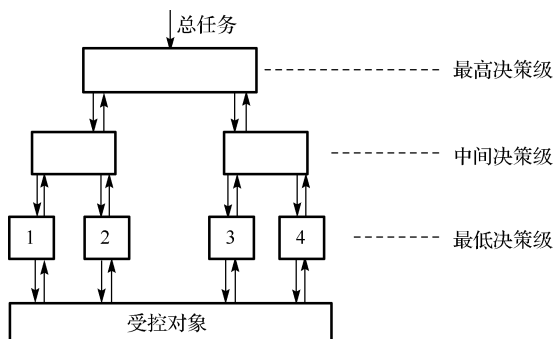


图 4-16 三层结构的递阶控制系统

## 5. 典型的工控机系统构成

典型的工业自动化系统一般采用三层网络结构，主要包含三个层次，从下往上依次是基础自动化、过程自动化和管理自动化，其核心部分是基础自动化和过程自动化。基础自动化部分基本被 PLC 和 DCS 垄断，过程自动化和管理自动化部分主要是由小型机组成的。

如图 4-17 所示为一个典型的工业自动化系统的三层网络结构示意图。

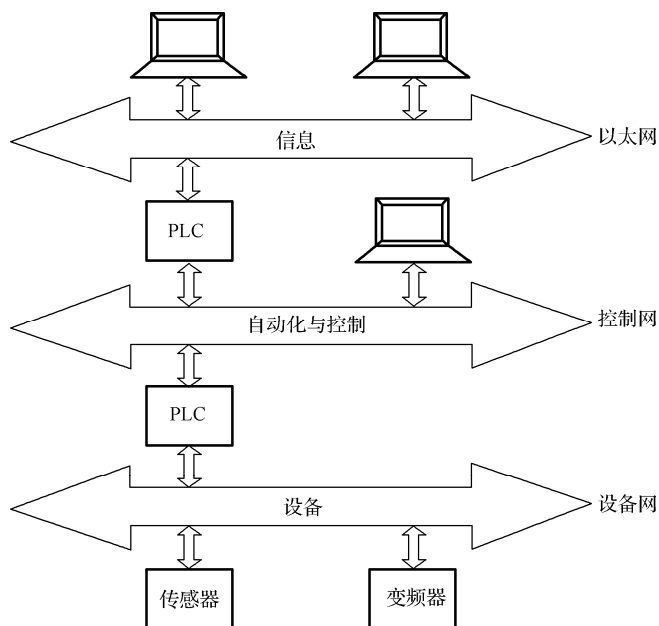


图 4-17 工业自动化系统的三层网络结构示意图

从图 4-17 可见，低层是用现场总线将智能测试、控制设备及工控机或者 PLC 设备的远程 Vo 点连接在一起的设备层；中间层是将 PLC、工控机及操作员界面连接在一起的控制层网络；而上层的以太网以 PC 或工作站为主，完成管理和信息服务任务。



若在 IPC 的基础上通过如上所述的三层网络结构将工厂生产过程控制连接到企业 ERP 系统中, 则企业管理层可以通过网络直接接收工厂端反馈的生产过程控制信息, 而工厂控制端也可以直接接收来自企业管理层的信息指导, 工厂生产过程就会变得透明, 使不同的职能部门可以通过网络实现有机结合。这样就使企业管控一体化、工业企业信息化、基于网络自动化的目标得以实现。



## 4.2 单片机控制系统

随着计算机的飞速发展和自动化生产程度的不断提高, 微机控制应用越来越广泛。单片微型计算机是指具有数据输入、输出、存储、运算等功能的大规模集成电路芯片的计算机, 简称单片机。由于单片机包括了中央处理器 (CPU)、由随机存储器 (RAM) 构成的数据存储器、由只读存储器 (ROM) 构成的程序存储器、各种输入/输出接口 (I/O)、可编程定时器/计数器、模数 (A/D) 转换器、数模 (D/A) 转换器等计算机所具有的基本功能, 因此可独立地进行工作。

### 4.2.1 单片机的组成与特点

#### 1. 组成

单片机是制作在一块集成电路芯片上的计算机。它包括中央处理器 (CPU)、由 RAM 构成的数据存储器、由 ROM 构成的程序存储器、可编程定时器/计数器、各种输入/输出接口 (I/O) 及时钟电路等。图 4-18 为典型的单片机结构。

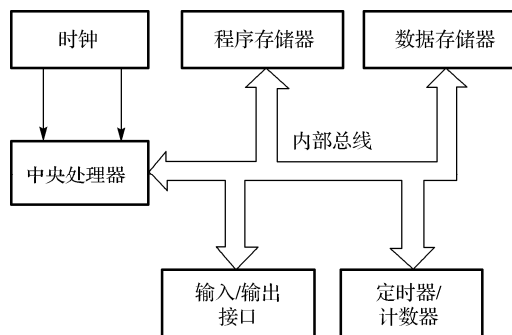


图 4-18 典型的单片机结构

单片机可分为 4 位机、8 位机、16 位机和数字信号处理专用单片机。

#### 2. 特点

各代产品的简介如下。

第一代产品是以 4004 微处理器为主及由它组成的 MCS-4 微型计算机和以 8008 微处理器为主及由它组成的 MCS-8 微型计算机。这一代微型计算机采用了 PMOS 工艺, 字长为 4 位或 8 位, 指令系统比较简单, 运算功能较差, 速度较慢, 系统结构仍然停留在台式计算机的水平, 软件主要采用机器语言或简单的汇编语言, 价格低廉。图 4-19 为第一代微处理器。

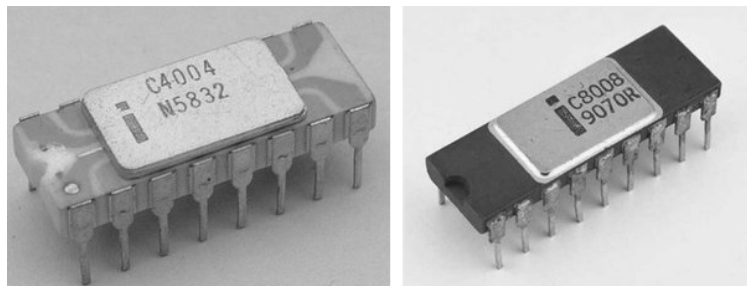


图 4-19 第一代微处理器

第二代产品以 8080 和 MC6800 微处理器为典型代表，集成度比第一代产品提高一至两倍，运算速度提高了一个数量级；而以 Z80 和 8085 为代表的高档 8 位微处理器，其集成度和速度又比典型的第二代提高了一倍以上。第二代微型计算机的特点是采用 NMOS 工艺，集成度提高 1~4 倍，运算速度提高 10~15 倍，指令系统比较完善，已具有典型的计算机系统结构及中断、DMA 等控制功能，寻址能力也有所增强，软件除采用汇编语言外，还配有 BASIC、FORTRAN、PL/M 等高级语言及其相应的解释程序和编译程序，并在后期配上操作系统。图 4-20 为第二代微处理器。

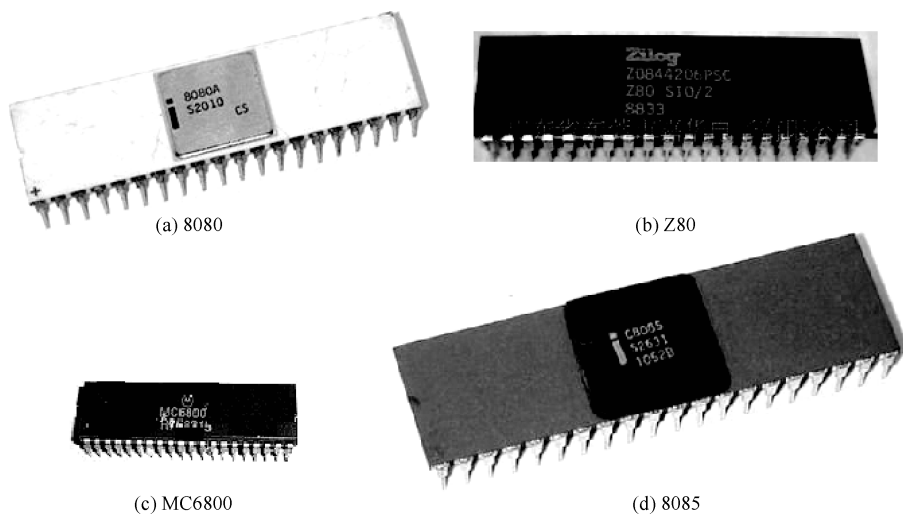


图 4-20 第二代微处理器

第三代产品以 8086、Z8000、MC68000 微处理器为主。它们的 CPU 采用 HMOS 工艺；各个性能指标都比第二代提高了一个数量级。这一类 16 位微型计算机通常都具有丰富的指令系统，采用多级中断系统、多重寻址方式、多种数据处理形式、段式寄存器结构、乘除运算硬件，电路功能大为增强，并都配备了强有力的系统软件。图 4-21 为第三代微处理器。

随着科学技术的突飞猛进，计算机应用日益广泛，现代社会对计算机的依赖已经越来越明显。原来的 8 位机、16 位机已经不能满足广大用户的需要，因此，产生 32 位高档微型计算机（称为第四代产品）。第四代产品是以 80386 和 80486 为 CPU 的微型计算机；其工作主频达到 25MHz，有 32 位数据线和 24 位地址线，并配置 16MB 内存和 1000MB





外存。使微型计算机成为超小型计算机，可执行多任务、多用户作业。同时由微型计算机组成的网络、工作站相继出现，从而扩大了用户的应用范围。图 4-22 为英特尔第四代微处理器。

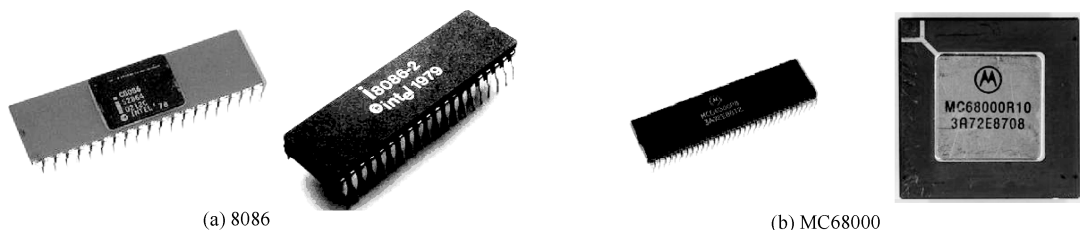


图 4-21 第三代微处理器

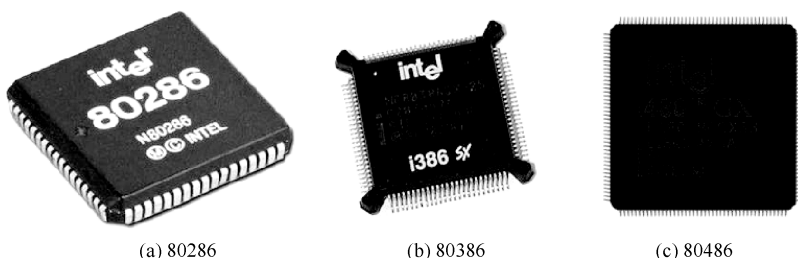


图 4-22 第四代微处理器

单片机具有以下特点。

(1) 程序存储器 (ROM) 与数据存储器 (RAM) 职责明确。ROM 负责存储程序、常数、数据表格等；RAM 则用于工作区和存储变量等。因此，把已经调试好的程序固化在 ROM 上，把少量的随机数据存放在 RAM 中，使小容量的数据存储器以高速 RAM 形式集成在芯片内，从而提高了单片机的运行速度。

(2) 多功能的 I/O 接口。由于具有多种功能，所以可解决 I/O 接口数与所需要信号线数的问题。至于 I/O 接口是处于何种功能，则由指令设置或机器状态来决定。

(3) 功能扩展性强。由于机内有掩膜 ROM 和 EPROM 与外接 ROM 等形式，以及便于扩展外部的 ROM、RAM 和 I/O 接口，因此可与多种微机兼容。

(4) 面向控制 (应用) 的指令系统。单片机具有优良的逻辑控制能力、很强的位处理能力和较高的运行速度，对控制的需要都能满足。

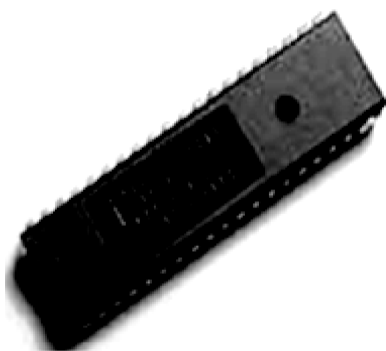
(5) 通用性强。由于多种功能都可以通用，因此使单片机得以广泛应用。

#### 4.2.2 典型的单片机 (微处理器)

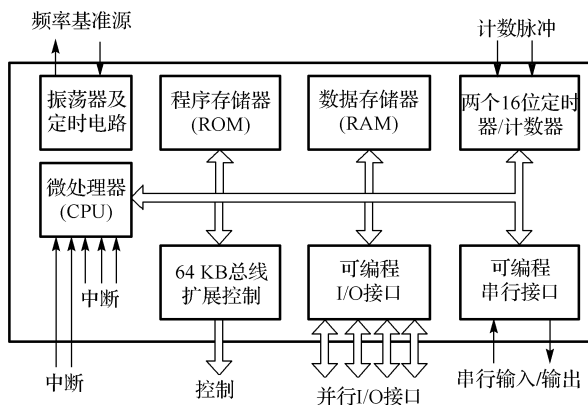
由于不同厂家、不同内核、不同位数，使单片机的型号也各不相同，因此单片机的类型、种类相当多。例如，以 Intel 公司授权的 8051 为内核 (微处理器) 的单片机，就有国产宏晶的 STC 系列、Atmel 公司生产的 AT89 系列、恩智浦 (NXP)、SST 等。

##### 1. MCS-51 系列单片机

MCS-51 是美国 Intel 公司生产得是相当成功的产品，一直到现在，MCS-51 系列或与其兼容的单片机仍是应用的主流产品。如图 4-23 所示为 MCS-51 系列单片机。



(a) 外形



(b) 内部结构

图 4-23 MCS-51 系列单片机

MCS-51 具有比较大的寻址空间。地址线达 16 条，即外部数据存储器 and 程序存储器的寻址范围可达 64KB，同时具备对 I/O 接口的访问能力。

MCS-51 采用模块化结构，简单地增、删一个模块就可使引脚和指令兼容新产品；易使产品形成系列化。

MCS-51 集成了几乎完善的 8 位中央处理单元。处理功能强，中央处理单元中集成了方便灵活的专用寄存器，硬件的加、减、乘、除法和布尔处理器及各种逻辑运算和转移指令，给应用提供了极大的便利。

MCS-51 的指令系统近乎完善，包含了全面的数据传送指令、完善的算术和逻辑运算指令、方便的逻辑操作和控制指令，对于编程来说是相当灵活和方便的。

MCS-51 单片机的工作频率为 2~12MHz。当振荡频率为 12MHz 时，一个机器周期仅为 1μs，速度比较快。

MCS-51 系列有 8051/8751/8031、8052/8752/8032、80C51/87C51/80C31 三个版本产品。其中，8031、8051 和 8751 为通用产品，其主要功能如下。

- (1) 8 位 CPU。
- (2) 4KB 程序存储器 (ROM)。
- (3) 128B 数据存储器 (RAM)。
- (4) 32 条 I/O 接口线。
- (5) 两个 16 位可编程定时器/计数器。
- (6) 21 个专用寄存器。
- (7) 1 个全双工串行通信接口。
- (8) 双列直插 40 脚封装。

图 4-24 为 8031、8051 和 8751 引脚图。

8051 作为 51 系列单片机中的代表产品，其包含中央处理器、程序存储器 (ROM)、数据存储器 (RAM)、定时器/计数器、并行 I/O 接口、串行通信接口和中断系统等几大单元，以及数据总线、地址总线和控制总线等三大总线，如图 4-25 所示。

8051 CPU 的内部集成有运算器和控制器。运算器完成运算操作（包括数据运算、逻辑运算等），控制器完成取指令、对指令进行译码及执行指令等。

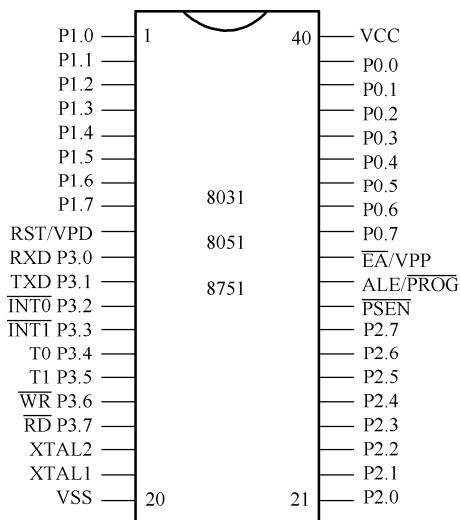


图 4-24 8031、8051 和 8751 引脚图

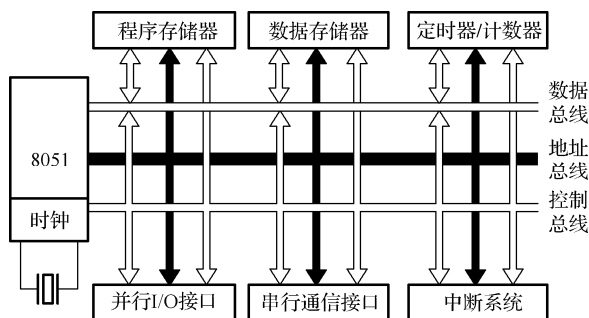


图 4-25 8051 内部框图

8051 CPU 是单片机的核心部件，是 8 位数据宽度的处理器，能处理 8 位二进制数据或代码。CPU 负责控制、指挥和调度整个单元系统协调的工作，完成运算和控制输入、输出功能等操作。

数据存储器（RAM）为 128 个 8 位用户数据存储单元和 21 个专用寄存器单元。它们是统一编址的，专用寄存器只能用于存放控制指令数据，用户只能访问，而不能用于存放用户数据，用户能使用的 RAM 只有 128 个，可存放读/写的数据、运算的中间结果或用户定义的字型表。

程序存储器（ROM）有 4096 个 8 位（即 4K 字节）掩膜程序存储器，用于存放用户程序、数据或表格。

定时器/计数器（ROM）为两个 16 位的可编程定时器/计数器，以实现定时或计数功能。当定时器/计数器产生溢出时，可用中断方式控制程序转向。

并行输入/输出（I/O）接口为 4 个 8 位的并行 I/O 接口（即 P0、P1、P2、P3），用于对外部数据进行传输。

全双工串行接口内置一个全双工异步串行通信接口，用于与其他设备间的串行数据传输。该串行接口既可以用作异步通信收发器，也可以用作同步移位器。

中断系统具备较完善的中断功能，有 5 个中断源（2 个外中断、2 个定时器/计数器中断和 1 个串行中断），可基本满足不同的控制要求，并具有 2 级的优先级别选择。

在 8051 内置最高频率达 12MHz 的时钟电路，用于产生整个单片机运行的时序脉冲，但需外接晶体振荡器和振荡电容。

## 2. MCS-96 系列单片机

MCS-96 单片机是目前具有最高性能的单片机系列产品之一；它与 MCS-51 单片机相比，主要具有集成度高和运算速度快两大特点。

MCS-96 单片机主要由寄存器算术逻辑单元（RALU）、232B 寄存器阵列及一些外围子系统构成。外围子系统主要包括高速输入/输出接口（HIS/HSO）、带有采样/保持电路的 A/D 转

换器、脉宽调制输出器 (PWM)、定时器、监视定时器、中断控制、I/O 接口 (串行接口和 5 个并行接口) 及时钟脉冲发生器等功能部件。

MCS-96 单片机的主要性能特点如下。

(1) 16 位的 CPU 没有采用累加器结构, 而是采用寄存器-寄存器结构。其 CPU 的操作直接面向 256 字节的寄存器空间, 消除了一般累加器结构中存在的瓶颈现象或效应, 提高了操作速度和数据的读写能力。

(2) 256 字节寄存器阵列和专用寄存器, 其中 232 字节为寄存器阵列, 可兼具一般单片机通用寄存器和 RAM 的功能, 又都可用作累加器。另外 24 字节为专用寄存器。

(3) 总线宽度可控。其外部数据总线可工作在 8 位或 16 位, 以便适应对片外存储器进行字节操作或字操作的不同需要。

(4) 系列中具有片内 ROM 或 EPROM 的芯片, 其容量为 8KB; 总存储器空间为 64KB; ROM 与 RAM 统一编址。

(5) 高效的指令系统可以对带符号数和不带符号数进行操作; 有 16 位乘 16 位和 32 位除 16 位的乘除指令, 有符号扩展指令, 还有数据规格化指令 (有利于浮点计算) 等。此外, 三操作数指令大大提高了编程效率。

(6) 高速输入/输出器特别适用于测量和产生分辨力高达  $2\mu\text{s}$  的脉冲 (在 12MHz 时)。

(7) 具有 5 个 8 位输入/输出接口。

(8) 全双工串行接口。

(9) 10 位 A/D 转换器。

(10) 脉宽调制输出器 PWM。

(11) 2 个 16 位定时器和 4 个 16 位软件定时器, 并具有 16 位监视定时器。

(12) 9 个中断源, 其中有 8 个留给用户使用, 这 8 个中断源对应 8 个中断矢量, 而有些中断矢量又对应着多种中断事件, 可对应 20 多种事件。

MCS-96 单片机包括 8096、8098、8096BH 这 3 个子系列。8098 单片机是该系列面向控制应用领域中性能价格比最高的, 应用也较为广泛。

图 4-26 为 8098 单片机引脚图。

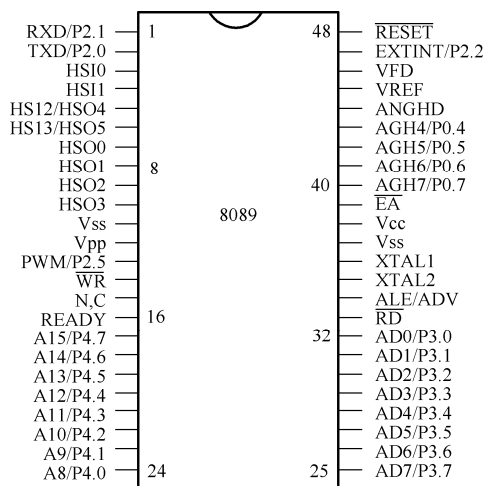


图 4-26 8098 单片机引脚图



8098 内部主要由 1 个寄存器算术逻辑单元 (ALU)、232B 的寄存器阵列及一些外围子系统构成。由 ALU 控制的外围子系统包括高速输入/输出接口 (HSI/HSO)、带有采样/保持电路的 4 通道 10 位 A/D 转换器、1 个可供 D/A 转换使用的脉冲宽度调制输出 (PWM)、中断控制和等待状态产生逻辑、1 个同步/异步串行接口、2 个 16 位定时器和一个监督定时器。此外，片外还有时钟脉冲发生器等。

图 4-27 为 8098 内部结构框图。

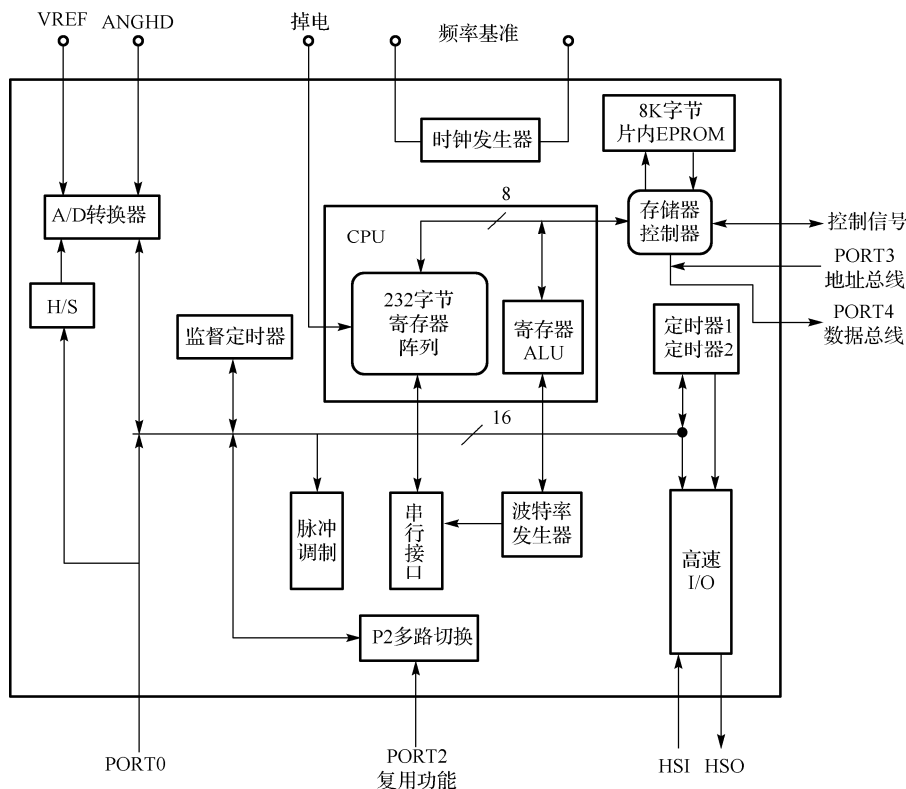


图 4-27 8098 内部结构图

8098 单片机内核是 16 位中央处理器 (CPU)。它采用寄存器-寄存器结构，CPU 可直接在由寄存器阵列和 SFR 特殊功能寄存器所构成的 256 字节寄存器空间内进行操作。这些寄存器都具有累加器的特殊功能，可使 CPU 对运算前后的数据进行快速交换，同时又提供了高速数据处理能力和频繁的输入/输出能力，消除了一般累加器结构中存在的瓶颈现象。16 位 CPU 支持位、字节和字操作，在部分指令中还支持 32 位双字操作，如 32 位除 16 位等。在 256 字节的寄存器阵列和特殊功能寄存器中，232 字节为内部寄存器阵列，它兼有一般微处理机中通用寄存器和高速 RAM 的功能，其余 24 字节为特殊功能寄存器。

8098 单片机具有丰富的指令系统，不但运算速度快，而且编程效率高。与 8031 (MCS-51 系列) 单片机相比，完成同样一个计算任务，8098 单片机的速度提高了 5~6 倍，并且指令字节数还不到 8031 单片机的 1/2。它还可以对不带符号和带符号数进行操作，如 16 位乘法指令、32 位除 16 位除法指令、符号扩展指令、数据规格化指令 (有利于浮点计算)

等。许多指令既可用双操作数，也可用三操作数，使用相当灵活。在 12MHz 晶振下，一条指令最短执行时间为 1 $\mu$ s；16 位乘 16 位乘法运算或 32 位除 16 位除法运算只需 6.5 $\mu$ s。

具有 4 通道 10 位 A/D 转换器，在 12MHz 晶振下，完成一次 A/D 转换所需时间只要 22 $\mu$ s。

作为 D/A 转换器输出，8098 单片机可直接提供一路脉宽调制信号，可以直接驱动某些电动机。PWM 输出信号经过积分就可以获得直流输出。D/A 转换器的分辨率为 8 位，脉冲周期为 64 $\mu$ s（在 12MHz 时）。

8098 单片机具有与 MCS-51 系列单片机兼容的全双工串行接口。这个串行接口同样也有 4 种操作方式，能方便地用于 I/O 扩展、多机通信，以及与 CRT 终端等设备进行通信。

在高速输入/输出接口（HSI/HSO）中，高速输入器可利用内部定时器 T1 产生的实时时钟记录某个外部事件发生的时间，共可记录 8 个事件；而高速输出器可按规定的时刻去触发某一事件，在任何时刻都可以悬挂起 8 个事件。所谓“高速”意味着这些功能是“自动”（相对于定时器）实现的，无须 CPU 的干预。另外，高速输入/输出接口特别适用于测量和产生分辨率高达 2 $\mu$ s 的脉冲。

8098 单片机具有多用途接口。如 P0 口引脚既可作为数字输入口，也可用作 A/D 转换器的模拟输入口；P2 口除作多路复用地址的 I/O 接口外，还可用作其他特殊功能（如串行接口功能）；P3 口和 P4 口为地址总线/数据总线，它们的引脚内部有很强上拉作用。

8098 单片机的 8 个中断源对应 8 个中断矢量，而有的中断矢量又对应着多种中断事件，共可对应 20 多种中断事件。

8098 单片机有 16 位 W. D. T 监视定时器，作用是系统在产生软、硬件故障时，监视定时器可以使系统复位，恢复 CPU 的工作能力。

8098 单片机具有 2 个 16 位定时器。定时器 T1 在系统中作实时时钟用，系统运行时，不停地循环计数；定时器 T2 根据外部事件计数。还有 4 个软件定时器，这 4 个软件定时器受高速输出器控制，一旦达到预定时间，设置相应的软件定时器标志，可以激活软件定时器中断。

8098 单片机的外部存储器空间总共为 64KB，数据存储器 and 程序存储器统一编址，因此构成应用系统比较方便。

## 3. MSP430 系列单片机

MSP430 系列单片机是一个 16 位、具有精简指令集、超低功耗的混合型单片机。由于其卓越的性能，即具有超低的功耗、处理能力强大、丰富的片内外设、系统工作稳定和方便灵活的开发手段等，与其他类型单片机相比具有更好的使用效果、更广泛的应用前景；并能解决很多其他类型单片机不能解决的问题。因此，MSP430 系列单片机在短短的时间里发展极为迅速，应用也日趋广泛。图 4-28 为 MSP430 系列单片机。

MSP430 系列单片机针对各种实际应用需求和不同的应用，包括一系列不同型号的器件而设计。MSP430 系列单片机的主要特点如下。

### 1) 超低功耗

MSP430 系列单片机的电源电压采用 1.8~3.6V

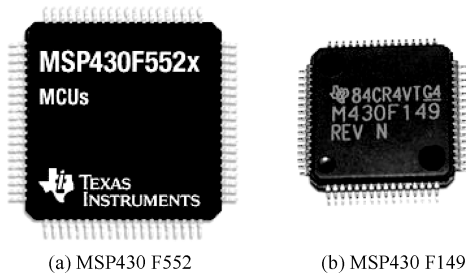


图 4-28 MSP430 系列单片机



低电压；RAM 数据保持模式下耗电仅  $0.1\mu\text{A}$ ，在  $1\text{MHz}$  的时钟条件下运行时，芯片的电流最低为  $165\mu\text{A}$  左右，活动模式耗电  $250\mu\text{A}/\text{MIPS}$ （MIPS 为每秒百万条指令数），I/O 输入端口的漏电流最大仅  $50\text{nA}$ 。

MSP430 系列单片机还具有灵活且可控的独特的运行时钟系统，包括两个不同的时钟系统，即基本时钟系统和锁频环（FLL 和 FLL+）时钟系统或 DCO 数字振荡器时钟系统。由时钟系统产生 CPU 和各功能模块所需的时钟，并且这些时钟可以在指令的控制下打开或关闭，从而实现对总体功耗的控制。由于系统运行时使用的功能模块不同，即采用不同的工作模式，因此芯片的功耗有明显的差异。在系统中有一种活动模式（AM）和 5 种低功耗模式（LPM0~LPM4）可供选择。在等待方式下，耗电为  $0.7\mu\text{A}$ ，在实时时钟模式下，为  $2.5\mu\text{A}$ ；在节电方式或 RAM 保持模式下，最低可达  $0.1\mu\text{A}$ 。另外，MSP430 系列单片机采用矢量中断，支持 10 多个中断源，并可以任意嵌套，使用时灵活方便。当系统处于省电的备用状态时，使用中断请求将 CPU 唤醒只要  $6\mu\text{s}$ ；通过合理编程，既可降低系统功耗，又可以对外部事件请求做出快速响应。

#### 2) 处理能力强

MSP430 系列单片机是 16 位单片机，采用了目前流行的精简指令集（RISC）结构；具有丰富的寻址方式（7 种源操作数寻址、4 种目的操作数寻址）、简洁的 27 条内核指令及大量的模拟指令；大量的寄存器及片内数据存储器都可参加多种运算，还有高效的查表处理指令等；并有较高的运算速度（处理速度），在  $8\text{MHz}$  晶振驱动下指令周期为  $125\text{ns}$ 。这些特点确保了可编制出高效率的源程序。

#### 3) 系统工作稳定

上电复位后，首先由 DCOCLK 启动 CPU，以保证程序从正确的位置开始执行，保证晶体振荡器有足够的起振及稳定时间；然后软件可设置适当的寄存器的控制来确定最后的系统时钟频率；若晶体振荡器在用做 CPU 时钟 MCLK 时发生故障，则 DCO 会自动启动，以保证系统正常工作。另外，MSP430 系列单片机为适应工业运行环境（MSP430 系列单片机均为工业级器件），运行环境温度设置为  $-40\sim+85^\circ\text{C}$ ；因此，运行稳定、可靠性高，所设计的产品适用于各种民用和工业环境。

#### 4) 高性能模拟技术和丰富的片内资源（外围模块）

MSP430 系列单片机结合了 TI 的高性能模拟技术；MSP430 系列单片机的各系列都集成了较丰富的片内外设。具体视型号不同可能组合有以下功能模块：看门狗（WDT）、模拟比较器 A、定时器 A0（Timer\_A0）、定时器 A1（Timer\_A1）、定时器 B0（Timer\_B0）、串口 0 与串口 1（USART0、1）、硬件乘法器、液晶驱动器、10 位/12 位/14 位 ADC、12 位 DAC、SPI、I2C 总线、直接数据存取（DMA）、端口 0（P0），端口 1~6（P1~P6）、基本定时器（Basic Timer）、实时时钟（RTC）和 USB 控制器等。

其中，看门狗可以在程序失控时迅速复位；模拟比较器进行模拟电压的比较，配合定时器，可设计出高精度（10~11 位）的 A/D 转换器；16 位定时器（Timer\_A 和 Timer\_B）具有捕获/比较功能；大量的捕获/比较寄存器可用于事件计数、时序发生、PWM 等；多功能串口（USART）可实现异步、同步和 I2C 串行通信，可方便地实现多机通信等应用；具有较多的 I/O 端口，P0、P1、P2 端口能够接收外部上升沿或下降沿的中断输入；12 位硬件 A/D 转换器有较高的转换速率，最高可达  $200\text{Kb/s}$ ，能够满足大多数数据采集应用的需求。

要；LCD 驱动模块能直接驱动液晶多达 160 段；硬件 I2C 串行总线接口可以实现存储器串行扩展；DMA 功能可以提高数据传输速度，减轻 CPU 的负荷。可见，MSP430 系列单片机的这些丰富的片内外设，在所有单片机系列产品中是非常突出的，为系统的单片解决方案提供了极大的方便。

## 5) 方便高效的开发环境

目前 MSP430 系列有 OTP 型、ROM 型和 Flash 型 3 种类型的器件。这些器件的开发手段不同，对于 OTP 型和 ROM 型的器件是使用专用仿真器开发成功之后再烧写成掩膜芯片的。对于 Flash 型则有十分方便的开发调试环境，因为器件片内有 JTAG 调试接口，还有可电擦写的 Flash 存储器，所以采用先通过 JTAG 接口下载程序到 Flash 内，再由 JTAG 接口控制程序运行、读取片内 CPU 状态，以及存储器内容等信息供设计者调试，整个开发（编译、调试）都可以在同一个软件集成环境中进行。这种方式只需要一台 PC 和一个 JTAG 调试器，而不需要专用仿真器和编程器。开发语言有汇编语言和 C 语言。目前较好的软件开发工具是 IAR Workbench V2.10。这种以 Flash 技术、JTAG 调试、集成开发环境结合的开发方式，具有方便、廉价、实用等优点。

MSP430 系列单片机目前主要以 Flash 型为主。

### 【例 4-5】MSP430F149 单片机简介

图 4-29 为 MSP430F149 单片机外形。

MSP430F149 的主要参数如下。

产品种类：混合信号处理器（Mixed Signal Processor）。

数据总线宽度：16bit。

系列：MSP430。

程序存储器类型：Flash。

程序存储器大小：60KB。

数据 RAM 大小：2KB。

接口类型：SPI、UART、USART。

最大时钟频率：8MHz。

可编程输入/输出端数量：48。

定时器数量：2。

工作电源电压：1.8~3.6V。

最大工作温度：+85℃。

封装/箱体：LQFP。

封装：Tube。

最小工作温度：-40℃。

片上 ADC：8-chx12-bit。

MSP430F149 单片机的引脚排列如图 4-30 所示。



图 4-29 MSP430F149 单片机外形

## 4. ARM Cortex-M 系列单片机

ARM Cortex-M 系列单片机是一系列针对成本敏感的应用程序进行优化的深层嵌入式处理器。该处理器仅支持 Thumb-2 指令集。ARM Cortex-M 系列单片机通过对成本和功耗





敏感的 MCU 和终端应用（如智能测量、人机接口设备、汽车和工业控制系统、大型家用电器、消费性产品和医疗器械等）的混合信号设备进行过优化，是家庭自动化、消费、智能计量和工业应用的理想选择。

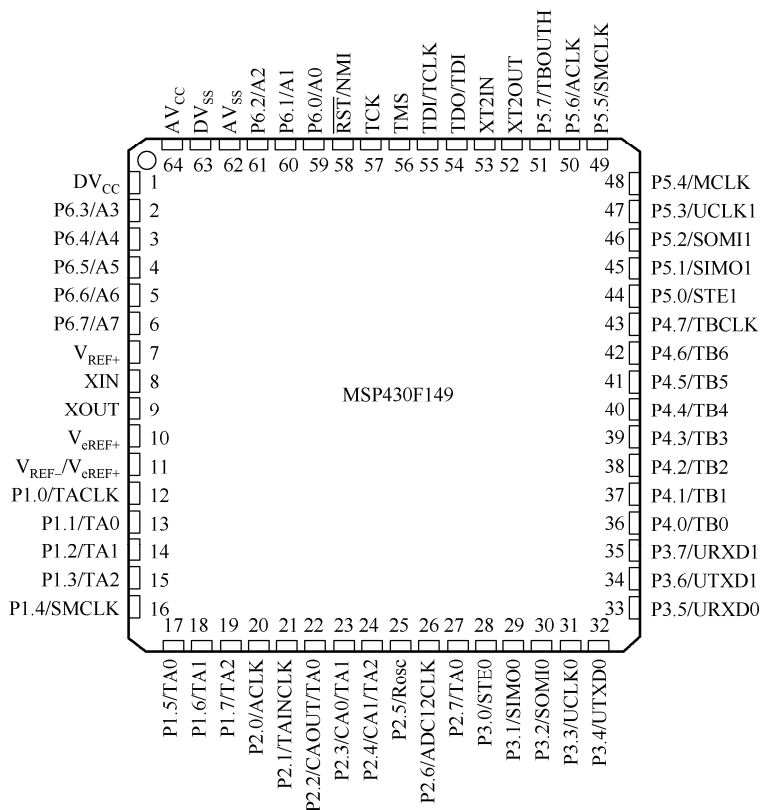


图 4-30 MSP430F149 单片机的引脚排列

该系列包含 ARM Cortex-M4、ARM Cortex-M3、ARM Cortex-M1 FPGA 和 ARM Cortex-M0 处理器。

(1) ARM Cortex-M4 处理器是一个低能耗处理器，特点是门数低、中断延迟短且调试成本低。ARM Cortex-M4F 处理器与 ARM Cortex-M4 具有相同的功能，且包括浮点运算功能。这些处理器专用于要求使用数字信号处理功能的应用程序。

图 4-31 为 ARM Cortex-M4 单片机。

(2) ARM Cortex-M3 处理器是一个低能耗处理器，特点是门数低、中断延迟短且调试成本低。它专用于要求快速中断响应的深层嵌入式应用程序，包括微控制器、汽车和工业控制系统等。

图 4-32 为 ARM Cortex-M3 单片机。

(3) ARM Cortex-M1 FPGA 处理器专用于要求使用集成到 FPGA 中的小型处理器的深层嵌入式应用程序。

图 4-33 为 ARM Cortex-M1 单片机。

(4) ARM Cortex-M0 处理器是一个门数非常低、能效非常高的处理器，专用于微控制器和要求使用面积优化处理器的深层嵌入式应用程序。

图 4-34 为 ARM Cortex-M0 单片机。

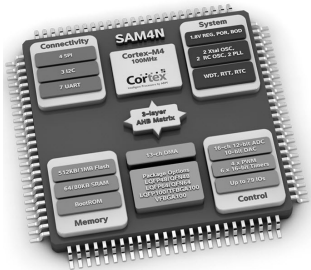


图 4-31 ARM Cortex-M4 单片机



图 4-32 ARM Cortex-M3 单片机



图 4-33 ARM Cortex-M1 单片机

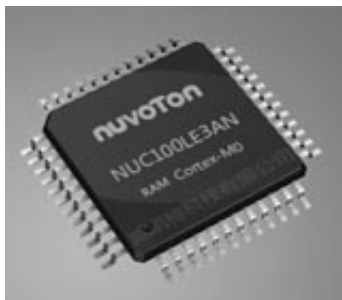


图 4-34 ARM Cortex-M0 单片机

几种 ARM Cortex-M 系列处理器的功能比较见表 4-1。

表 4-1 几种 ARM Cortex-M 系列处理器的功能比较

类 别	Cortex - M0	Cortex-M3	Cortex-M4
架构版本	v6M	v7M	v7ME
指令集	Thumb, Thumb-2	Thumb+Thumb-2	Thumb+Thumb-2, DSP, SIMD, FP
DMISP/MHz	0.9	1.25	1.25
总线接口	1	3	3
集成 NVIC	是	是	是
中断数	1~32 + NMI	1~240 + NMI	1~240 + NMI
中断优先级	4	8~256	8~256
断点, 观察点	4/2/0, 2/1/0	8/4/0, 2/1/0	8/4/0, 2/1/0
存储器保护单元(MPU)	否	是(可选)	是(可选)
集成跟踪选项(ETM)	否	是(可选)	是(可选)
故障接口	否	是(可选)	否
单周期乘法	是(可选)	是	是
硬件除法	否	是	是
WIC 支持	是	是	是
Bit Banding	否	是	是
单周期 DSP/SIMD	否	否	是
硬件浮点	否	否	是
总线协议	AHB Lite	AHB Lite, APB	AHB Lite, APB
CMSIS 支持	是	是	是
应用	“8/16 位”应用	“16/32 位”应用	“32 位/DSC”应用
特性	低成本和简单性	性能效率	有效的数字信号控制



#### 【例 4-6】ARM Cortex-M3 单片机简介

图 4-35 为 ARM Cortex-M3 单片机。

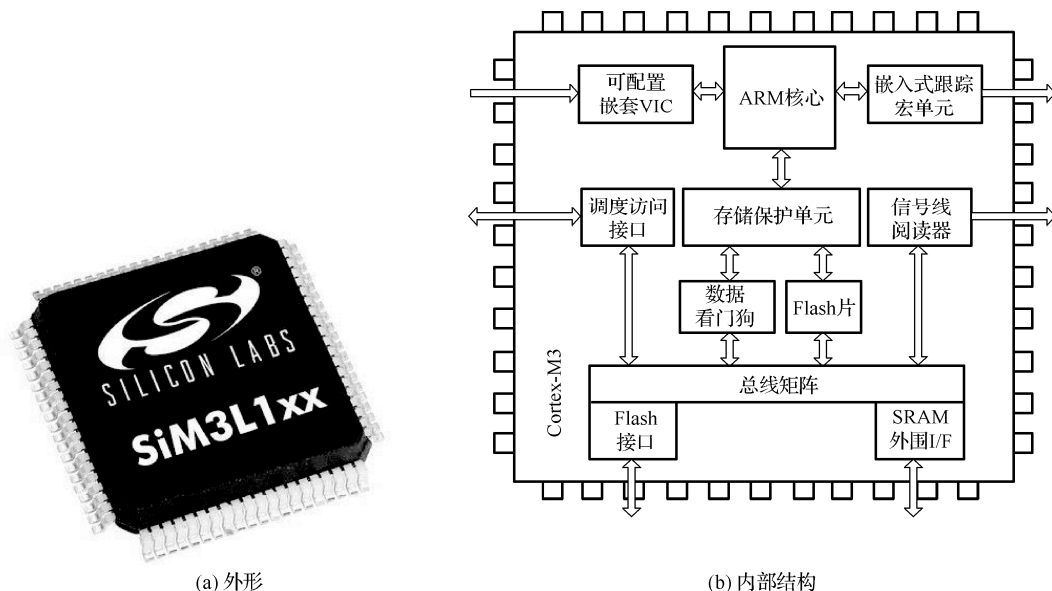


图 4-35 ARM Cortex-M3 单片机

ARM Cortex-M3 的特点如下。

Cortex-M3 采用了 Tail-Chaining 中断技术，完全基于硬件进行中断处理，最多可减少 12 个时钟周期数，在实际应用中可减少 70% 中断，因此具有更快的中断速度。

Cortex-M3 采用了新型的单线调试（Single Wire）技术，专门有一个引脚作为调试用，从而节约了调试工具费用；同时，Cortex-M3 中还集成了大部分存储器控制器，这样可以直接在 MCU 外连接 Flash，降低了设计难度和应用障碍。

Cortex-M3 结合了多种突破性技术，令芯片供应商提供超低费用的芯片；仅 33000 门的内核性能可达 1.2DMIPS/MHz。处理器还集成了许多紧耦合系统外设，令系统能满足下一代产品的控制需求。

Cortex-M3 采用 ARM v7M 架构，它包括所有的 16 位 Thumb 指令集和基本的 32 位 Thumb-2 指令集架构，但不能执行 ARM 指令集。Thumb-2 在 Thumb 指令集架构（ISA）上进行了大量的改进，与 Thumb 相比，具有更高的代码密度并提供 16/32 位指令的更高性能。

Cortex-M3 支持两种工作模式：线程模式和处理模式。在复位时处理器进入“线程模式”，异常返回时也会进入该模式，特权和用户（非特权）模式代码能够在“线程模式”下运行。出现异常模式时处理器进入“处理模式”，在该模式下，所有代码都是特权访问的。

Coretx-M3 处理器有两种工作状态：Thumb 状态和调试状态。Thumb 状态是 16 位和 32 位“半字对齐”的 Thumb 和 Thumb-2 指令的执行状态。调试状态是处理器停止并进行调试时进入的状态。

- ARM Cortex-M3 的主要特性如下。
- 32 位 ARM 架构；Cortex-M3 v7M 架构。
- Thumb 兼容的 Thumb-2-only 指令集。

- 20MHz 下工作。
- 硬件除法和单周期的乘法器。
- 集成的嵌套式的中断控制器 (NVIC) 提供确定性的中断处理。
- 8 级优先级的 14 个中断通道。
- 8KB 的单周期 Flash 存储器, 在 2KB 块的基础上提供两种形式的 Flash 保护。
- 2KB 的单周期 SRAM 存储器。
- 两个定时器, 每个可被配置为一个 32 位的定时器或两个 16 位的定时器。
- 一个支持捕捉的简单 PWM 模式。
- 实时时钟 (RTC)。
- 独立的看门狗定时器。
- 可编程的接口支持: Freescale SPI 总线, National Semiconductor MICROWIRE 总线, Texas 编辑本段产品构造 Synchronous Serial 总线。
- 完全可编程的 16C550-型 UART。
- 两个独立的模拟比较器。
- 可配置为输出来驱动一个输出引脚或产生一个中断。
- 可在外部输入引脚或外部输入引脚和内部参考电压之间比较。
- 2~18 个 GPIO, 这取决于用户的配置。
- 在所有的引脚上具有可编程的 GPIO 中断; 可边沿触发或电平触发。
- 可编程的 GPIO 衬垫配置: 弱上拉或下拉电阻; 2mA、4mA、8mA、衬垫驱动。
- 8mA 驱动斜率控制。
- 开漏使能和数字输入使能。
- 片内 LDO 电压调整器。
- 处理器低功率选项: 睡眠模式和深度睡眠模式。
- 外设低功率选项: 软件控制关闭个别外设。
- 用户使能的 LDO 未调整电压检测和自动复位。
- 通过中断或复位方式检测并报告 3.3V 电源电压下降。
- IEEE 1149.1-1990 兼容的 TAP 控制器。
- 经过 JTAG 或串行线调试。
- 48 脚 SOIC。
- 商业或工业级工作温度。

### 4.2.3 单片机控制系统及其应用

#### 1. 单片机控制系统

单片机要实现或达到控制目的, 必须具备计算机的两大基本部分, 即硬件和软件。如图 4-36 所示为单片机控制系统的部分硬件实物图。

##### 1) 硬件

硬件是由传感器、接口电路、单片机、驱动电路、键盘、显示器等组成的, 如图 4-37 所示。

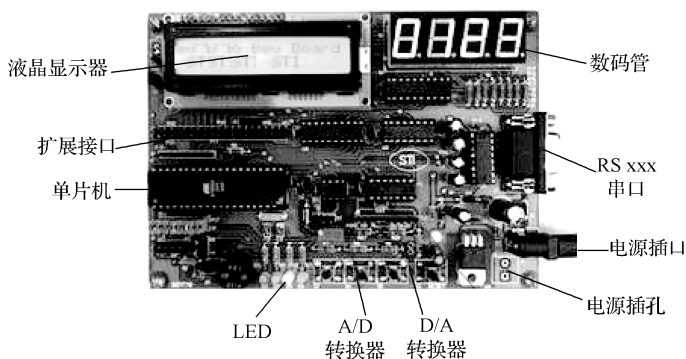


图 4-36 单片机控制系统的部分硬件实物图

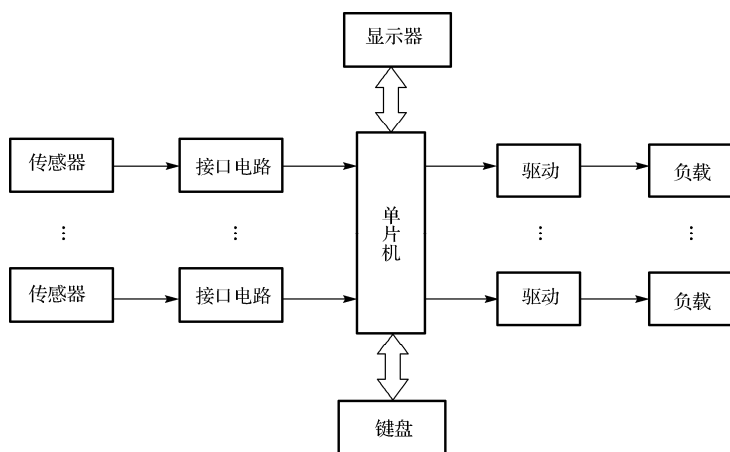


图 4-37 单片机控制系统的硬件组成

单片机部分是控制系统的核心，它决定系统的功能、速度等性能是否达到需求。单片机的种类有很多，如前面介绍的 Intel 公司的 MCS-48、MCS-51、MCS-96，TI 公司的 MSP430、爱特梅尔公司（Atmel® Corporation）的 ARM Cortex-M、Atmel® SAM D20 等。

传感器输入部分将被控对象的现场信号及其他信号进行采集、转换成电信号输出。各种传感器已在第 3 章介绍。

接口电路将传感器输出的各种信号（如电平、频率、相位、阻值等）加以处理。由于传感器的种类很多，原理又各不相同，因此接口电路的种类也各种各样。在实际应用中，接口电路必须与传感器相对应，才能完成信号的处理，包括对信号的滤波、整形、放大、衰减等工作。

驱动电路是执行、完成、实现控制的部分。驱动电路的常见形式有继电器控制（已在第 2 章介绍）、电子控制（如晶闸管）、微机控制（如可编程控制器、变频器）等。

键盘是指令、程序的输入部分。要系统执行什么任务、完成什么工作，还有工作的过程、规律等的控制，都需要使用者选择和输入命令，也就是人机的对话通道。

显示器显示系统和控制器等部分的运行状态。常用的显示器有 LED（发光二极管）、数码管、CRT 等形式。

## 2) 软件（程序）

软件或程序是单片机的中央处理器（CPU）所执行的指令。单片机的不同生产厂家或

公司都有自己的软件或程序，各不相同，并预先进行编制及固化到单片机中的只读存储器（RAM）中。常用的软件或程序一般可分为初始化、指令读入、状态读入、执行、显示等。

## 2. 交流变频调速系统

使用变频调速器和调节器来实现交流电动机的无级调速方式，具有调速范围宽、稳速精度高、动态响应快、运行可靠性高等特点，但是线路复杂，价格昂贵，因此这种调速方式常用于大、中功率的交流电动机。对于中、小型电动机采用以单片机为主的控制器，具有高度灵活性和可靠性，是低价格的交流电动机变频调速系统。

这里以 Intel 公司的 8098 单片机作为主控制器，并且采用了功率晶体管作为驱动输出系统，具有完善的电流、电压、转速的检测和显示，以及过电压，过电流保护，另又增加了串行通信接口，采用两线制 RS-485 通信结构。可靠通信距离为 1.2km，并且可加中继来加长距离。系统还可方便地进行组网控制或组成分布式集散控制系统，也可单独作为直接控制器来使用。

图 4-38 为单片机（8098）变频调速系统框图。

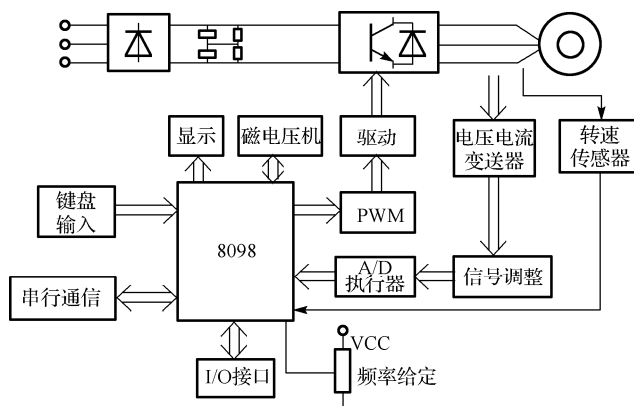


图 4-38 单片机（8098）变频调速系统框图

交流变频调速系统分成单片机控制模块、PWM 形成电路、信号检测电路、变频调速主回路、可控硅控制及功率晶体管驱动电路、辅助输入/输出电路、电源电路等部分。

### 1) 单片机控制模块

图 4-39 为单片机控制模块组成框图。

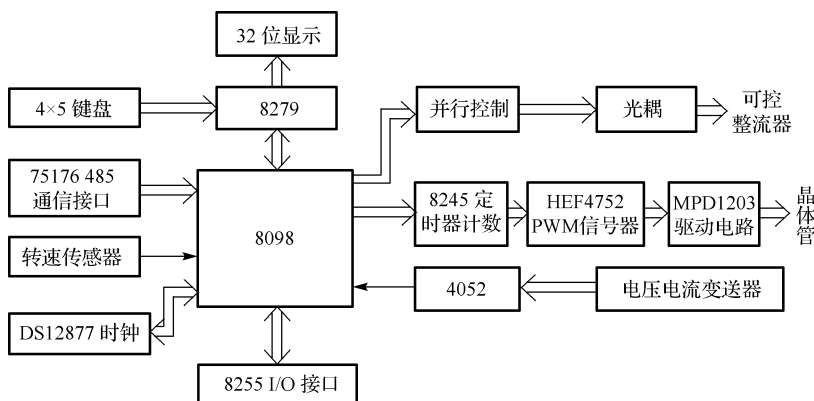


图 4-39 单片机控制模块组成框图



单片机控制模块的内核为 8098 单片机。其外围有键盘和数码显示接口芯片 8279、并行输入/输出 (I/O) 芯片 8255、时钟芯片 DS12887、定时器/计数器芯片 8254、模拟开关 4052、锁存器和串行 RS-485 标准通信驱动接口芯片 75176 等。

8098 单片机通过集成 74LS373 锁存与集成 74LS274 驱动后, 控制整流晶闸管与 HEF4752 的 5 脚、24 脚来实现电动机的启停控制与正反转控制。

8279 芯片构成了 32 位数码管显示和  $4 \times 5$  键盘矩阵。32 位数码分别显示 6 位时间、4 位给定转速、4 位实际转速、4 位运行频率、2 位运行指示和 1 个 3 位的运行电压、3 个 3 位的运行电流。 $4 \times 5$  键盘矩阵分别有 0~9 共 10 个数字键和 8 个功能键与 2 个备用键。

8255 芯片为并行输入/输出 (I/O) 接口。其 Pc7 与 Pc6 口作为模拟开关 4052 的控制信号; Pa 口作为输入口, 使用光电耦合器隔离, 可输入 8 路状态量; Pb 口作为输出口, 经隔离驱动、继电器后输出 7 路开关量; 这部分主要是作为扩展系统时使用。

DS12887 芯片是片内带锂电池、晶振的时钟芯片。其可为系统提供一个时间基准并且可以在电动机电流过大保护时记录下时间; 芯片内有 128 字节的不掉电 RAM, 使停电后保持数据不丢失。因此, 可用于存储系统运行中的一些参数, 如键盘输入的给定转速、最大电流等。

8254 芯片是一片内含 3 路 16 位可编程计数器/定时器。8098 单片机定时对频率给定信号进行采样, 并根据 A/D 转换的结果或键盘的设定或从上位机通过串行通信接口设定的转速, 再经软件处理变换为适合 8254 可编程计数器的计数常数; 而 8254 输入了由单片机送出的计数常数后便产生相应频率的方波信号; 所以单片机一旦改变送出的计数常数, 就可以改变 8254 输出的方波信号的频率。这个方波信号作为 PWM 芯片 HEF4752 的时钟输入, 因此, 调节频率给定信号就改变了 8254 的计数常数, 也即改变了 HEF4752 的时钟输入的频率, 从而改变逆变器输出的频率, 实现电动机的变频调速。

4052 是双四选一模拟开关, 主要用于 8098 单片机模拟输入的扩展。因为 8098 单片机有 4 路 10 位的模数转换输入, 其中 AGH4 与 AGH5 通过外接可调模拟电压作为频率给定和电压/频率 (V/F) 调节; AGH6 与 AGH7 通过 4052 扩展为 8 路模数转换, 其中 4 路接一个电压与 3 个电流信号, 另 4 路可根据不同需要做不同的用途。

75176 芯片是 RS-485 标准的通信驱动芯片, 在 2400 波特时有效距离为 1200m; 用于系统中有上位机时, 8098 单片机与上位机之间的通信。上位机可通过串行通信接口向单片机下达开、关机等命令与各种运行参数, 也可随时得到现场的各种数据与电动机运行参数, 实现两级控制。

## 2) PWM 形成电路

PWM 形成电路采用 HEF4752 芯片, 该芯片主要用来产生正弦脉宽调制信号 (脉冲信号) 的大规模集成电路, 具有可靠性好、应用方便、编程简单等特点。

HEF4752 集成电路可输出 3 对互补的脉宽调制驱动波形, 驱动三相逆变桥功率元件, 产生对称的三相输出。为避免逆变桥中同一相上下 2 个开关元件同时导通而引起短路, 在切换时插入互锁推迟间隔, 以确保有足够的换相时间避免短路, 因此, 在 HEF4752 集成电路中, 由推迟间隔选择端 K 和时钟输入 OCT 决定推迟间隔的长短。当 K 为高电平时, 推迟间隔时间  $T_b = 16/F_{oct}$  (s); 当 K 为低电平时,  $T_b = 8/F_{oct}$  (s)。

HEF4752 集成电路的三相 PWM 输出波形的频率、电压和每周期的脉冲数, 分别由 3

个时钟输入 FCT、VCT、OCT 决定；输入则由 8098 单片机改变计数常数，经可编程计数器/定时器 8254 输出方波信号获得。

HEF4752 集成电路的输入端 CW 用于控制相序。当 CW 为高电平时，相序为 RYB；当 CW 为低电平时，相序为 RBY；相序改变了，使电动机的旋转方向也发生改变。另外，当输入端 L 为低电平时，封锁所有的脉宽调制驱动输出，作用除启停电动机外，还可方便地实现过流保护。

### 3) 信号检测电路

信号检测电路是对电动机的电压、电流和转速等进行采集。通常由相应的传感器完成工作。各种传感器已在第 3 章介绍。

### 4) 变频调速主回路

变频器可采用通用变频器，参见第 2 章。

整流器由 6 个晶闸管组成三相可控桥式整流电路。将三相交流电整流后再经电容滤波，为变频调速主回路提供直流电源，并且可控制 6 个晶闸管的导通与截止，从而实现电源的软开关。

逆变器功率元件由 GTR1~GTR6（功率晶体管）组成。

### 5) 可控硅控制及功率晶体管驱动电路

晶闸管（GTR）驱动电路采用的光电耦合器件，其作用是单片机主控系统和触发外部的隔离，如 MOC3021（双向晶闸管输出型的光电耦合器）。

功率晶体管的基极驱动电路应选用简化系统结构、提高系统可靠性的器件，如 MPD1203 厚膜集成电路，其集成光电隔离与驱动电路，为 GTR 提供正或负的基极电流，控制 GTR 的导通或关断。

### 6) 辅助输入/输出电路

辅助输入/输出电路由 8255 组成的并行输入/输出接口和模数转换电路的模拟输入口组成，确保系统的灵活性。

### 7) 电源电路

变频调速系统的软件主要由主程序、外部中断服务程序、显示子程序、串行通信子程序、键盘输入子程序和高速输入部件中断子程序等组成。

主程序的作用是首先完成各个部件的初始化，设定各个中断向量（为各个部件以后的工作做好基础），不停地进行模数转换和数据处理，同时等待各中断的到来，而转入相应的中断服务子程序。

外部中断服务程序作为电动机的停止控制。当外部中断发生时，首先通过 74LS373 使可控整流器关断，然后清除 8254 中的数据来关断功率晶体管，完成停止电动机的过程。

串行通信子程序在有上位机或数台机器联用时使用。

高速输入部件中断子程序的作用是对 4 个输入中断的管理。当输入中断发生时，根据不同引脚中断的发生，由不同的处理子程序分别完成电动机转速的测量、键盘的中断输入、时钟的更新等工作。

## 3. 微电脑控制步进电动机系统

步进电动机在机电控制系统、自动化控制系统中是一种重要的执行部件，因此广泛应





用于各种控制系统中。它是一种将脉冲信号转换为位移或转速的控制（特种）电动机，当输入一个脉冲信号，电动机会转动一个角度（称前进一步）。其机械角位移和转速分别与输入电动机绕组的脉冲个数和脉冲频率成比例，因此可以通过改变脉冲频率进而在大范围内实现调速。

图 4-40 为系统控制电路。该电路选用 AT89C2051 单片机和 THB6064H 电动机驱动芯片构成一个稳定的二相或多相步进电动机控制系统。该系统利用了 AT89C2051 单片机的输出口输出脉冲控制波形精确，通过软件细分功能，进而实现步进电动机的步距控制。而 THB6064H 电动机驱动芯片具有集成度高、外围电路较为简单、可靠性较高等特点，可使步进电动机得到较宽的调速范围。因此，这种步进电动机的控制系统成本低，控制方便，性能稳定，有较高的实用价值。

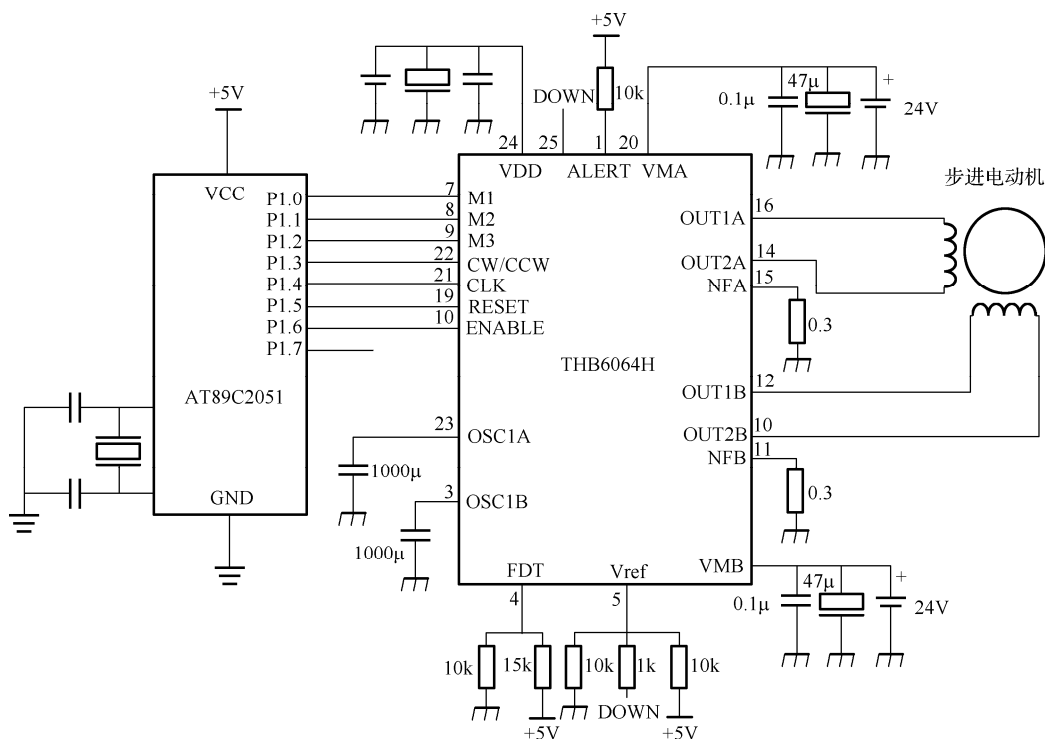


图 4-40 微电脑控制步进电动机系统控制电路图

(1) AT89C2051 单片机是精简版的 51 单片机，芯片实物如图 4-41 所示。



图 4-41 AT89C2051 芯片

AT89C2051 单片机的主要性能如下。

- 2KB 可编程 Flash 存储器（可擦写 1000 次）。
- 两级程序存储器保密。
- 静态工作频率：0Hz~24MHz。
- 128 字节内部 RAM。
- 两个 16 位定时器/计数器。
- 一个串行通信接口。
- 6 个中断源。
- 15 条可编程 I/O 引线。
- 一个片内模拟比较器。
- 2.7~6V 的工作电压。
- 20 引脚小型封装。

可见，AT89C2051 的 I/O 引线较少，导致无法外加 RAM 和程序 ROM，片内 Flash 存储器也少，但芯片体积小，工作电压最低为 2.7V，有利于开发更多的产品（特别是便携式产品）。

图 4-42 为 AT89C2051 芯片的引脚图。

AT89C2051 芯片的引脚功能如下。

主电源引脚：VCC（20 脚）电源输入，接 2.7~6V 电源；GND（10 脚）接地线。

外接晶振引脚：XTAL1（5 脚）片内振荡电路的输入端；XTAL2（4 脚）片内振荡电路的输出端。

控制引脚：RST/VPP（1 脚）复位引脚，当引脚上出现两个机器周期的高电平时，将使单片机复位。

可编程输入/输出引脚：P1 口（P1.0~P1.7）8 位准双向 I/O 引线；P3 口（P3.0~P3.5、P3.7）8 位准双向 I/O 引线。

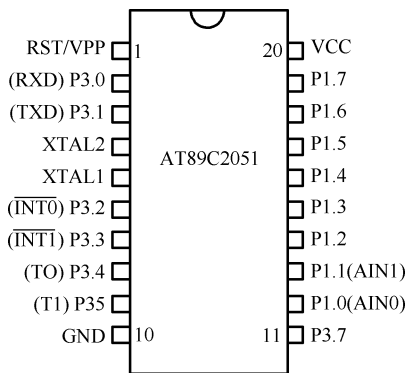


图 4-42 AT89C2051 芯片引脚图

（2）THB6064H 电动机驱动芯片是东芝公司生产的大功率、高细分两相混合式步进电动机驱动专用芯片。通过单片机输出控制信号，可实现高性能、多细分、大电流的驱动电路，驱动步进电动机。该芯片具有以下特点。

- ① 单芯片两相正弦细分步进电动机驱动。
- ② 直接采用单脉冲和方向信号译码控制模式。
- ③ 采用高耐压 BiCD 工艺， $R_{on}=0.4\Omega$ 。
- ④ 可实现正反转控制。
- ⑤ 通过 4 位选择 8 档细分控制（1/2、1/8、1/10、1/16、1/20、1/32、1/40、1/64）。
- ⑥ 高输出耐压（VSS=50V）。
- ⑦ 高输出电流（ $I_{out}=4.5A$ ）。
- ⑧ HZIP25-P-1.27 封装。
- ⑨ 有输出监视管脚（DOWN/ALERT）。
- ⑩ 有复位和使能管脚。
- ⑪ 芯片内部有过热保护（TSD）和过流检测电路。



图 4-43 为 THB6064H 电动机驱动芯片的内部结构框图。

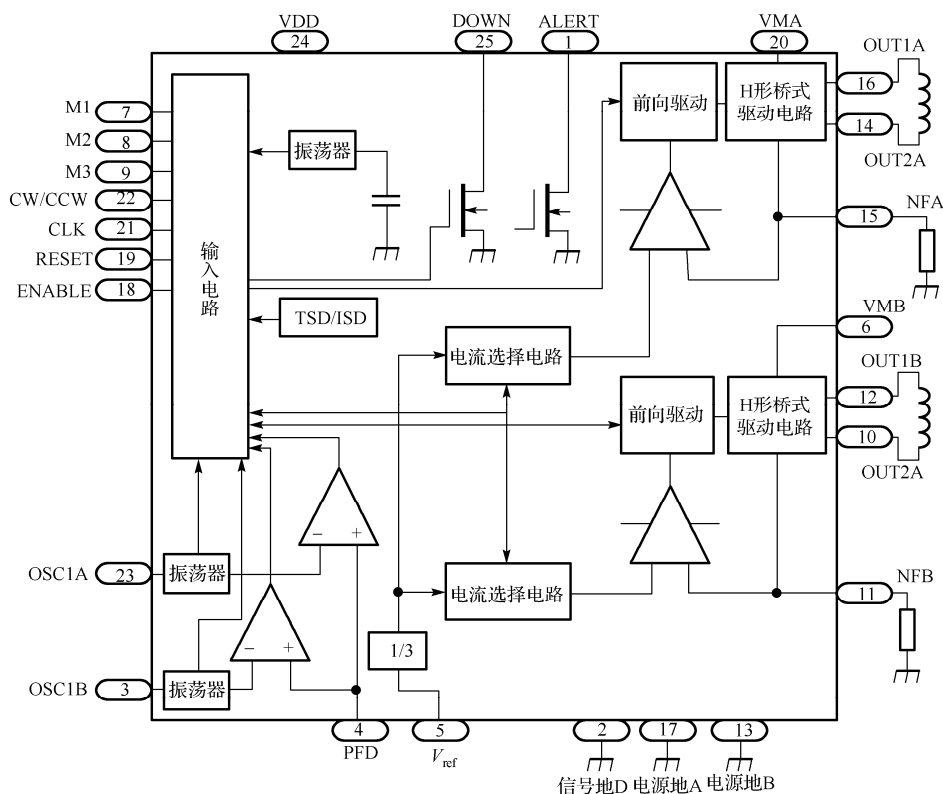


图 4-43 THB6064H 电动机驱动芯片的内部结构框图

THB6064H 电动机驱动芯片主要由一个输入电路、两个 H 形桥式驱动电路、两个电流选择电路、两个振荡电路等功能模块组成。

芯片主要引脚的功能如下。

M1、M2 和 M3 脚（7~9 脚）用于选择电动机细分状态，根据输入值的不同可选择 8 种细分模式（1/2、1/8、1/10、1/16、1/20、1/32、1/40、1/64），如表 4-2 所示。

表 4-2 细分模式表

输 入			细 分 模 式
M1	M2	M3	
0	0	0	1/2
0	0	1	1/8
0	1	0	1/10
0	1	1	1/16
1	0	0	1/20
1	0	1	1/32
1	1	0	1/40
1	1	1	1/64

PFD 脚（4 脚）为衰减方式控制端，通过调节电压可以选择不同的衰减方式，从而获得更好的驱动效果。

DOWN 脚（25 脚）为半流锁定控制，电动机锁定时可降低功耗。当 CLK 小于 1.5Hz 时，DOWN 输出为 0；当 CLK 大于 1.5Hz 时，DOWN 输出为 1。DOWN 常态为 1，此时的  $V_{ref}$  电压由  $R_1$  和  $R_2$  分压决定并形成设定电流。当启动半流锁定功能时，DOWN=0， $R_{down}$  参与  $R_1$ 、 $R_2$  分压，从而降低了  $V_{ref}$ ，也就减小了设定电流； $R_{down}$  的阻值决定电流下降的幅度，因此，改变锁定电阻  $R_{down}$  的阻值，可获得不同的锁定电流值。

ALERT 脚（1 脚）为过流及过温保护输出端。正常状态下，ALERT=1；当有过流或过温现象时，ALERT=0。

CLK 脚（21 脚）为脉冲输入端。VDD 方波，-0.2V；脉冲频率最高为 100kHz，脉冲宽度最小为 4 $\mu$ s。

CW/CCW 脚（22 脚）为电动机正反转控制端。当 CW/CCW 为 0 时，电动机正转；当 CW/CCW 为 1 时，电动机反转。

RESET 脚（19 脚）为上电复位端。当 RESET 为 1 时，芯片工作。

ENABLE 脚（18 脚）为使能端。当 ENABLE 为 0 时，芯片输出为 0。

THB6064H 控制功能表如表 4-3 所示。

表 4-3 THB6064H 控制功能表

输 入 端				输 出 模 式
CLK	CW/CCW	RESET	ENABLE	
脉冲上升沿	L	H	H	电动机正转
脉冲上升沿	H	H	H	电动机反转
×	×	L	H	初始模式
×	×	×	L	0

（3）AT89C2051 与 THB6064H 连接控制步进电动机（如图 4-39 所示）。

单片机 P1.0~P1.2 脚分别与 THB6064H 的 M1、M2 和 M3 脚连接，用于决定电动机的转动方式。

P1.3 脚与 THB6064H 的 CW/CWW 脚连接，控制电动机的转动方向。

P1.4 脚与 CLK 脚连接，控制时钟的频率，即可控制电动机的转动速率。

P1.5 脚与 RESET 脚连接，可通过编程使 THB6064H 复位。

P1.6 脚与 ENABLE 脚相连，用来控制 THB6064H 输出有效。

THB6064H 的 OUT1A、OUT2A 和 OUT1B、OUT2B 与步进电动机相连，步进电动机按二相双极性使用；四相按二相使用时可以提高步进电动机的输出转矩。

另外，AT89C2051 的时钟频率为零，即具备可用软件设置的睡眠省电功能，系统的唤醒方式有 RAM、定时器/计数器、串行口和外中断口；系统唤醒后即进入继续工作状态。省电模式中，片内 RAM 将被冻结，时钟停止振荡，所有功能停止工作，直至系统被硬件复位方可继续运行。

步进电动机在低频工作时，会有振动大、噪声大的缺点，为此步进电动机采用细分控制（或细分方式），即通过对步进电动机励磁绕组中电流的控制，使其内部的合成磁场为均匀的圆形旋转磁场，从而实现步进电动机步距角的细分，并解决了其振动大、噪声大的问题。



(4) 软件方面主要考虑和设计控制系统的初始化、步进电动机的正反转、变速控制、步距细分控制和电动机的锁定。

#### 4. 微电脑控制交流伺服电动机转速系统

伺服电动机属于控制（特种）电动机，分为直流伺服电动机和交流伺服电动机两种。由于交流伺服电动机具有体积小、重量轻、转矩输出大、惯量低和良好的控制性能等优点，已广泛应用于自动控制系统和自动检测系统中作为执行元件，将控制电信号转换为转轴的机械转动。另外，伺服电动机的定位精度相当高，现代位置控制系统也较多地采用以交流伺服电动机为主要部件的位置控制系统。

微电脑控制系统组成框图如图 4-44 所示。

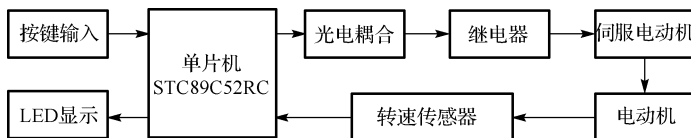


图 4-44 微电脑控制系统组成框图

控制系统采用 STC89C52RC 单片机构成一个最小控制系统，通过脉宽可调制输出控制两个继电器，实现电动机正反转的智能控制，从而实现伺服电动机的精确位移控制。

##### 1) STC89C52RC 单片机

STC89C52RC 单片机是新一代高速、低功耗、超强抗干扰的单片机，指令代码完全兼容传统 8051 单片机。STC89C52RC 芯片实物如图 4-45 所示。

STC89C52RC 单片机的主要性能如下。

- 增强型 8051 单片机，6 时钟/机器周期和 12 时钟/机器周期可以任意选择，指令代码完全兼容传统 8051。
- 工作电压为 3.3~5.5V（5V 单片机）、2.0~3.8V（3V 单片机）。
- 工作频率范围为 0~40MHz，实际工作频率可达 48MHz。
- 用户应用程序空间为 8KB。
- 片上集成 512B 的 RAM。
- 32 个通用 I/O 接口。复位后 P1/P2/P3/P4 是准双向口/弱上拉；P0 口是漏极开路输出，作为总线扩展用时，不用加上拉电阻；作为 I/O 接口用时，需加上拉电阻。
- ISP（在系统可编程）/IAP（在应用可编程），无须专用编程器及专用仿真器，可通过串行口（RxD/P3.0、TxD/P3.1）直接下载用户程序，数秒即可完成一片。
- 具有 E<sup>2</sup>PROM 功能。
- 具有看门狗功能。
- 3 个 16 位定时器/计数器，即定时器 T0、T1、T2。
- 外部中断 4 路，下降沿中断或低电平触发电路，Power Down 模式可由外部中断低电平触发中断方式唤醒。



图 4-45 STC89C52RC 芯片实物

- 通用异步串行口 (UART)，还可用定时器软件实现多个 UART。
- 工作温度范围为 $-40\sim+85^{\circ}\text{C}$  (工业级)、 $0\sim75^{\circ}\text{C}$  (商业级)。
- 40 脚 PDIP 封装。

STC89C52RC 单片机的工作模式如下。

(1) 掉电模式：典型功耗小于  $0.1\mu\text{A}$ ，可由外部中断唤醒，中断返回后，继续执行原程序。

(2) 空闲模式：典型功耗  $2\text{mA}$ 。

(3) 正常工作模式：典型功耗  $4\sim7\text{mA}$ 。

图 4-46 为 STC89C52RC 芯片的引脚图。

## 2) 交流伺服电动机控制系统

交流伺服电动机采用三相电动机；驱动器控制 U/V/W 三相电形成电磁场；转子在此磁场的作用下发生转动，同时由转速传感器将电动机的转速信号反馈给驱动器 (STC89C52RC 单片机)；驱动器根据反馈值与目标设定值进行比较，再通过控制继电器的闭合、断开来达到控制脉宽的大小，从而控制或调整电动机转子转动的角度，达到控制电动机转速的目的。

另外，可通过按键输入电动机所需的转速值 (预设值)，并与转速传感器反馈回来的电动机转速相比较，经单片机处理后，转化成相应的脉冲信号，再经光电耦合器调节继电器的开度，通过调节继电器的脉冲宽度，达到脉宽的调制，从而控制伺服电动机上的磁块正负位移，使电动机达到预定的转速值，同时单片机接收固定在伺服电动机转轴上的转速传感器随着电动机转动而产生的反馈脉冲信号，并在 LED 上实时显示电动机的实际转速。

图 4-47 为交流伺服电动机控制系统控制电路图。

STC89C52RC 的 P0.0、P0.1、P0.2 端口分别作为按键 SET、按键 MOVE、按键 UP 的输入口，通过 STC89C52RC 定时器 T0 的定时中断控制脉冲发送频率，进而控制电动机的转速。

由于单片机属于 TTL 电路 (逻辑 1 和 0 的电平分别为  $2.4\text{V}$  和  $0.4\text{V}$ )，其 I/O 接口输出的开关量控制信号电平无法直接驱动电动机，所以在 P2.6 口 (24 脚) 控制升速信号输出端需加入驱动电路；同理，该驱动电路也应用于 P2.7 口 (25 脚) 的降速输出端。电动机驱动电路如图 4-48 所示。

采用光电耦合器和晶体管作为驱动，由光电耦合器输出通道传入控制电动机，所以具有很强的抑制噪声干扰能力，起隔离作用，可防止强电磁干扰；而晶体管主要起功率放大作用。

## 3) 控制器 (STC89C52RC) 的软件

主要完成 LED 显示，接收键盘输入，实现伺服电动机匀速运行和继电器控制几项功能，包括主程序、按键中断服务程序、定时器 T0 中断服务程序及 LED 显示子程序。

在交流伺服电动机控制系统中，单片机的主要作用是产生脉冲序列，通过 STC89C52RC 的 P3.2 口发送。系统软件编制采用定时器定时中断产生周期性脉冲序列，不使用软件延时，不占用 CPU。CPU 在非中断时间内可以处理其他事件，只有到了中断时间，才驱动伺服电动机转动一步。

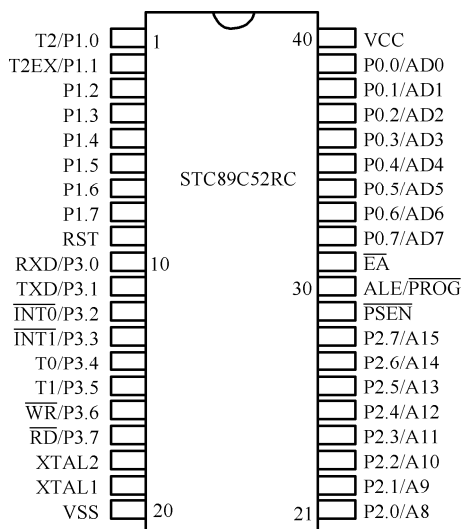


图 4-46 STC89C52RC 芯片的引脚图

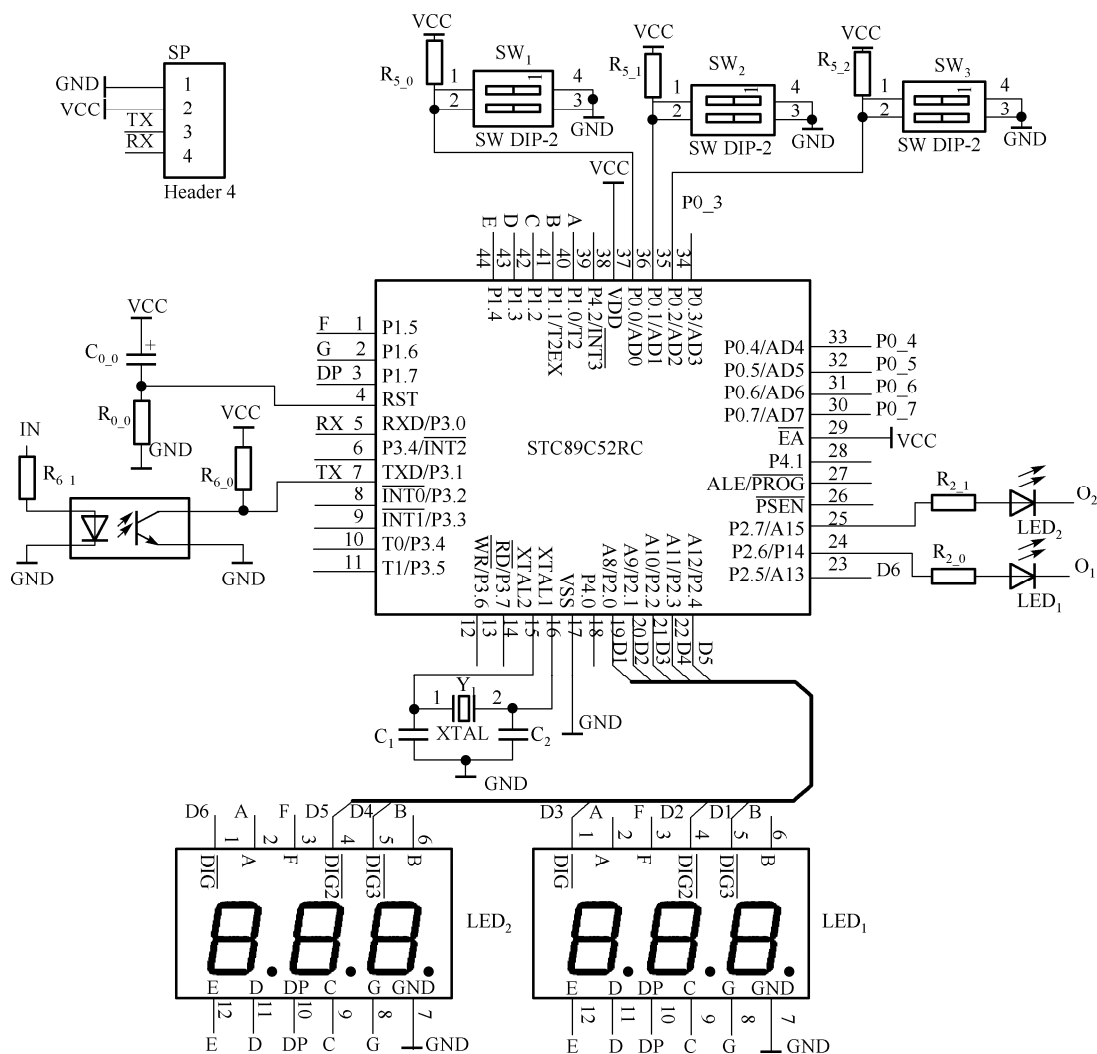


图 4-47 交流伺服电动机控制系统电路图

系统程序流程图如图 4-49 所示。

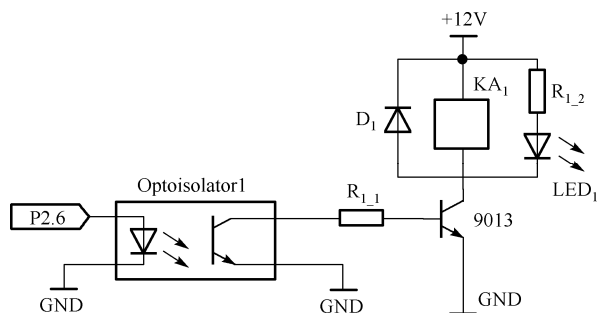


图 4-48 电动机驱动电路

## 5. 微电脑控制电冰箱

微电脑控制电冰箱具有温度控制精确、附加其他功能多、有人性化操作界面等，同时

随微电脑（单片机）的技术发展与成本的下降，在电冰箱中的应用越来越广泛，尤其在多温区冰箱、多门对开冰箱等高档冰箱中得到应用。

图 4-50 为微电脑控制电冰箱外观。

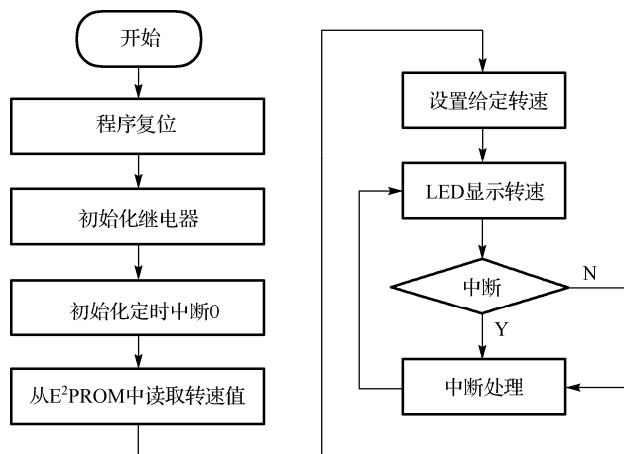


图 4-49 系统程序流程图



图 4-50 微电脑控制电冰箱外观

微电脑控制电冰箱的功能如下。

## 1) 制冷温度的控制

通过温度传感器和微电脑的控制实现电冰箱内各室温度的自动控制，使冰箱内的温度达到要求设定的温度。

## 2) 自动化霜控制

冷藏蒸发器经过一段时间的制冷工作后，其表面会自然结霜；若霜层过厚将直接影响冰箱的制冷效果。因此，自动化霜控制可根据冰箱制冷的运行时间使冷藏蒸发器表面的霜融化成水并排出冰箱外；同时确保化霜过程结束后（冷藏室蒸发器的温度高于  $5^{\circ}\text{C}$ ）再进行制冷，避免化霜水结冰堵塞排水孔及影响制冷能力。

## 3) 自动除霜控制

自动除霜控制是根据冰箱制冷的运行时间及冰箱内的温度来控制除霜加热器工作而进行除霜的。除霜过程时除霜加热器加热将使冷冻室蒸发器上的结霜融化成水并排出冰箱外，还可另设接水槽加热器避免排水孔堵塞。自动化霜控制还需确保把霜除干净后（冷冻室蒸发器的温度高于  $6^{\circ}\text{C}$ ）并延时几分钟再进行制冷。在自动除霜过程中冷冻室停止制冷，风扇电动机停止运转，避免冷冻室温度的回升。

## 4) 状态显示

状态显示是通过显示操作界面显示冰箱的设定温度、实际温度、当前运行模式、间室关闭状态、故障代码等。常见的显示方式有：LED 发光二极管显示、LCD 液晶显示屏、LED 显示屏等。

## 5) 速冷、速冻

速冷、速冻模式为冰箱根据用户需要设置的预存专家模式；进入速冷模式后冷藏室快速降温，进入速冻模式后冷冻室快速冷却实现保鲜效果。速冷、速冻模式由用户通过按键设定，符合条件后自动退出按原有设定运行。





#### 6) 低温环境下的自动温度补偿

由于冰箱的循环制冷系统使冰箱的冷藏室、冷冻室同时制冷，在低温环境下会造成冷藏室温度过低或冷冻室温度过高的现象；通过自动温度补偿对冷藏室补偿加热器的自动控制实现在各种环境温度条件下的冷藏室、冷冻室温度控制。

#### 7) 电源过压保护

当电源电压过高时，通过熔断器等措施保护控制板及其他器件不致于损坏。

#### 8) 压缩机 3min 延时启动保护

当压缩机每次停机时，制冷系统管道内的压力需要一段时间平衡；若在停机后马上启动，则会因开机负载很大而容易使压缩机损坏。因此，单片机系统在每次上电时，需进行检测，若停机时间不足 3min 则自动延时 3min 后启动，从而保护压缩机。

#### 9) 系统保护及断电记忆

为防止用户在插接电源过程中出现暂时性接触不良，在单片机上电 3s 后才允许启动压缩机。当系统因外界（如强干扰）等原因造成死机时，能自动复位且保持复位前的显示和按复位前的模式运行。若系统停电后再来电，则自动按停电前的模式及设定运行。

#### 10) 间室关闭功能

根据使用需要，由用户设定关闭不需要使用制冷的间室，以减少实际使用的耗电量。间室关闭功能是通过系统控制电磁阀的状态，关断对应间室的制冷循环回路，实现对应间室停止制冷以减少耗能。

#### 11) 关门提示功能

该功能是根据检测的门开关信号来确定的，若开门时间超过 2min，则蜂鸣器鸣叫提醒用户关门；若长时间仍未关门，自动检测认为门开关故障或用户忘记关门，则自动进行关照明灯等动作。

#### 12) 双稳态电磁阀初始化及自动纠错

双稳态电磁阀主要用于多循环冰箱系统，具有脉冲驱动、无驱动信号状态保持等特点，每次上电发送交替驱动脉冲，使双稳态电磁阀来回动作初始化，避免由于长期不运行导致的阀芯卡死。由于不是随时输出驱动脉冲，因此在运行过程中的自动纠错功能通过对比电磁阀应有的当前状态和对应蒸发器的温度变化是否一致，判断电磁阀的状态是否正确，否则发送驱动脉冲进行纠正。

例如，要求电磁阀 R 状态（冷藏室制冷）时，如果冷藏蒸发器温度不下降，反而冷冻室蒸发器温度下降，则发送 R 状态驱动脉冲进行纠正，避免电磁阀状态因为外界的干扰出现改变。

#### 13) 自诊断及故障提示、处理

通过软件设置，单片机对冰箱的常见故障进行判断，并以故障代码的形式显示在显示操作面板上，同时程序内部转入故障处理方式运行。

#### 14) 系统自检

自检程序一般不对用户开放。为便于生产检验和售后维修，通过特定的按键组合可以进入控制系统自检程序。进入自检后冰箱按特定的流程进行运行和显示，供检验和维修人员作为判断参考。

微电脑控制电冰箱的功能较多，但并不是都具备，制造商在开发过程中根据机型功能

需要选用相应的芯片来达到所需的功能；所以，有些机型的功能较为简单，有些则更复杂；而相应的电路则简单或复杂。

图 4-51 为电冰箱微电脑控制电路结构框图。

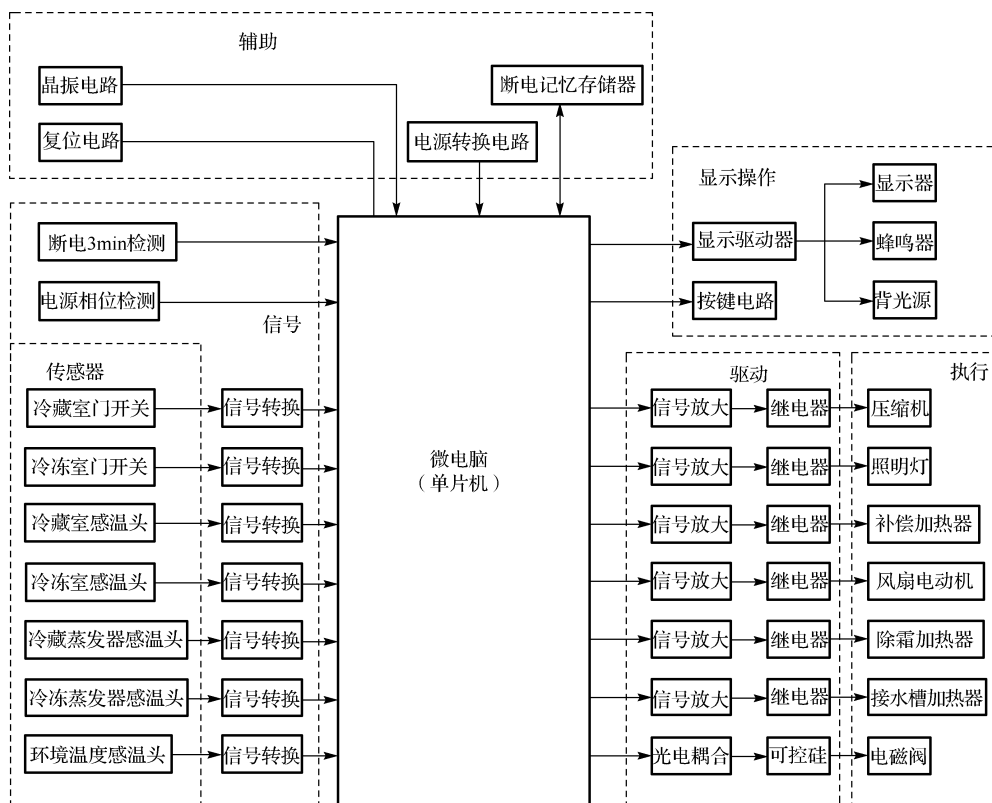


图 4-51 电冰箱微电脑控制电路结构框图

表 4-4 为电冰箱微电脑控制电路结构的各部分作用。

表 4-4 电冰箱微电脑控制电路结构的各部分作用

部 分	电 路 名 称	作 用
辅助	复位电路	使控制系统恢复原状
	晶振电路	产生高频振荡，为单片机提供标准时钟
	电源转换电路	为控制系统提供 5V 和 12V 的直流电源
	断电记忆存储器	具有断电记忆功能的存储器，记忆用户设定值及部分运行过程参数，实现重新来电后自动恢复原有设定功能运行
信号	断电 3min 检测	停机时间不足 3min，则自动延时 3min 后启动
	电源相位检测	为双稳态电磁阀的驱动提供电源相位参考信号
	信号转换	将传感器送来的各种不同信号转换成微电脑所接收的信号
传感器	冷藏室门开关	控制冷藏室开门时照明灯亮，若长时间未关门则进行声音提醒
	冷冻室门开关	控制冷冻室开门时使风扇电动机停转，避免冷气外散
	冷藏室、冷冻室感温	检测冷藏室、冷冻室内的温度，从而控制压缩机和风扇电动机的运转
	冷藏蒸发器感温	通过检测冷藏室蒸发器的温度，判断冷藏室化霜是否已经完成化霜工作
	冷冻蒸发器感温	通过检测冷冻室蒸发器的温度，判断冷冻室除霜是否已经完成除霜工作
	环境温度感温	对冰箱的周围环境温度进行检测并显示

续表

部 分	电 路 名 称	作 用
显示 操作	显示驱动器	通过显示屏、蜂鸣器等显示电冰箱的运行状态，背光源控制显示的背光照明
	按键电路	用户进行设定调节操作
驱动	信号放大	将微电脑输出的信号放大，并送到相应的器件
执行	设备	对各种设备进行工作状态的控制

【例 4-7】智能电冰箱（微电脑控制冰箱）的简介

图 4-52 为春兰 BCD-230WA 电冰箱（微电脑控制冰箱）的电路图。

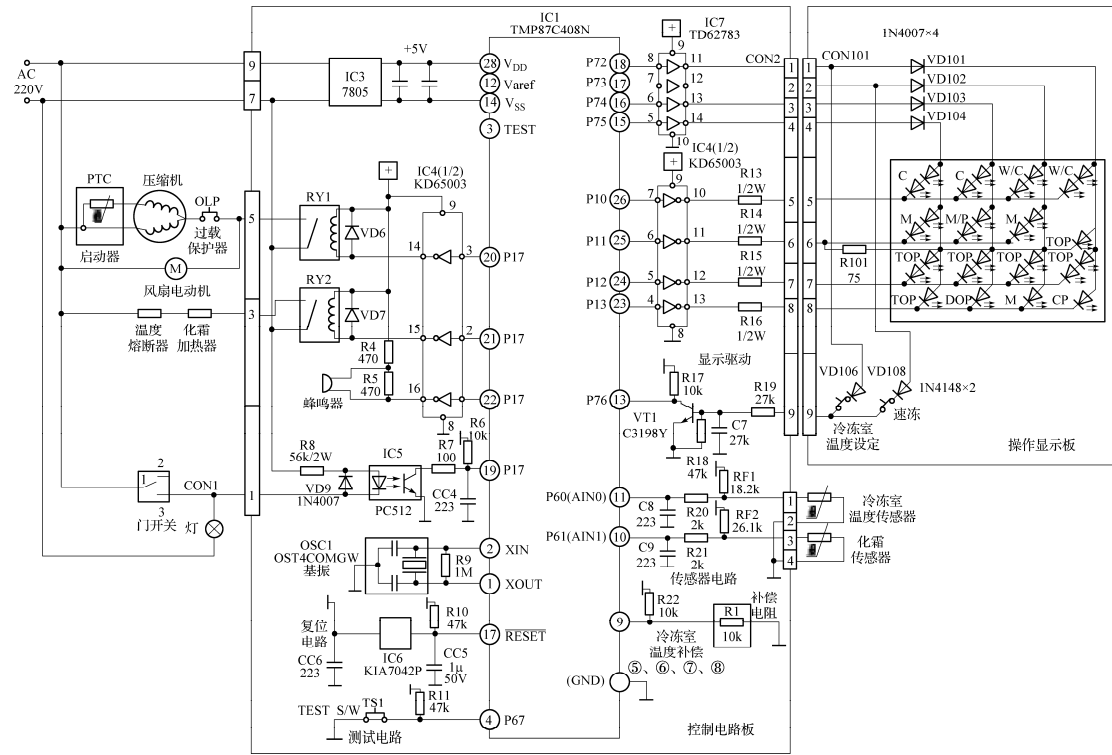


图 4-52 春兰 BCD-230WA 电冰箱（微电脑控制冰箱）的电路图

图 4-53 为春兰 BCD-230WA 电冰箱（微电脑控制冰箱）的控制电路板。

微电脑（单片机）是电冰箱的核心控制器件，既要输出控制信号，又随时监测、监控电冰箱各部位的工作情况。它采用 TOSHIBA 公司生产的高性价比的 8 位单片机 TMP87C408N。主要性能为 8 位 CPU 内核（最小指令周期为 0.15μs）；4KB 片内 ROM 程序存储器；256KB 数据存储器；10 个中断源（外部 4 个，内部 6 个）；22 位 I/O 线；两个 16 位多功能计数器/定时器；系统监视定时器；时钟同步串行口；6 路 8 位逐次逼近式 A/D 转换器；转换时间可选择 22μs/92μs；28 引脚。

微电脑（单片机）TMP87C408N 的引脚功能见表 4-5。

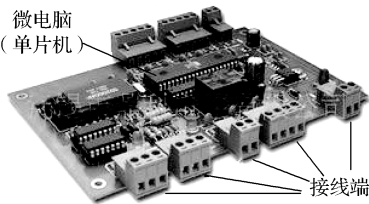


图 4-53 春兰 BCD-230WA 电冰箱（微电脑控制冰箱）的控制电路板

表 4-5 微电脑（单片机）TMP87C408N 的引脚功能

引 脚 号	功 能	引 脚 号	功 能	引 脚 号	功 能
1~2	时钟振荡输入	11	冷冻室温度检测	20	压缩机工作控制
3	测试用	12	+5V 电源	21	化霜控制
4	测试开关	13	键盘指令输入	22	蜂鸣器控制
5~8	地	14	地	23~26	键盘和显示器控制
9	冷冻室温度补偿	15~18	键盘和显示器控制	27	复位端
10	化霜温度检测	19	冷藏室门警示控制	28	+5V 电源

微电脑（单片机）的工作条件：由于既要控制压缩机、化霜器件、显示器等的工作，又要随时监控各冷冻室、冷藏室的区间温度。因此，单片机在执行上述功能时，需要具备 +5V 直流电源供电、复位、时钟振荡等基本条件。

微电脑（单片机）的直流电源供电电路如图 4-54 所示。

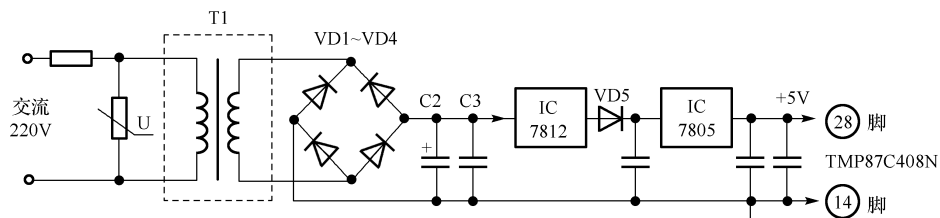


图 4-54 微电脑（单片机）的直流电源供电电路

微电脑（单片机）的复位：通电后，由复位电路产生低电位的复位信号，经过一段时间后，单片机的 27 脚输入电压变成高电平，微电脑（单片机）内部电路恢复为初始状态。几个主要工作过程如下。

制冷过程：工作后，由单片机（TMP87C408N）的 20 脚输出启动指令，送入 IC4（KD65003）的 3 脚；经放大后由 14 脚输出，控制 RY1 继电器吸合，接通压缩机和风扇电动机回路，启动并使压缩机和风扇同时运转，实施制冷和散热。与此同时，单片机（TMP87C408N）的 11 脚检测冷冻室制冷温度；若达到设置温度，则使单片机（TMP87C408N）的 20 脚输出停机指令，压缩机和风扇停转，制冷工作结束。单片机（TMP87C408N）实际是通过检测 11 脚电压来确定冷冻室温度的；11 脚电压由外接电阻（包括冷冻室温度传感器的热敏电阻及 R20、RF1）决定。冷冻室温度传感器的热敏电阻的阻值随温度的下降而升高，从而将温度的变化转换为电压信号的变化，使单片机根据 11 脚的不同电压值来判断冷冻室当前的温度。

化霜过程：压缩机通过累计运行 7h 后，由单片机（TMP87C408N）的 21 脚输出化霜指令，并送入 IC4（KD65003）的 2 脚；经放大后由 15 脚输出，控制 RY2 继电器吸合，接通化霜加热器回路，使化霜加热器发热进行化霜。与此同时，单片机（TMP87C408N）通过 10 脚检测化霜情况；10 脚电压由外接电阻（包括化霜传感器的热敏电阻及 R21、RF2）决定。化霜传感器的热敏电阻可将不同点的温度转换成电信号，再传递给单片机的 10 脚；当检测结果达到 13℃ 时，使单片机（TMP87C408N）的 21 脚出现停止化霜指令输出，则化霜工作结束。

显示器和键盘的工作过程：操作显示板的显示矩阵上每一组二极管代表数码的一个笔画。由单片机（TMP87C408N）的 15~18 脚经 IC7（TD62783）对显示矩阵提供行驱动信



号, 另由单片机 (TMP87C408N) 的 23~26 脚通过 IC4 (KD65003) 对显示矩阵提供列驱动信号。当冷冻室调节按钮或速冻按钮被按下时, 除经单片机 (TMP87C408N) 识别处理输出相关控制信号外, 还由 15~18 脚、23~26 脚输出相应的电压组合, 控制显示器显示相应的工作状态。

蜂鸣器和门警示: 单片机 (TMP87C408N) 的 22 脚为蜂鸣器控制端, 输出振荡信号。蜂鸣器的供电电压为 12V, 振荡频率为 3.125kHz。单片机 (TMP87C408N) 的 19 脚为冷藏室门警示控制端; 当冷藏室门打开时, 因门开关闭合而接通光耦 (D8) 输入端电路, 使光耦 (D8) 输出脉冲信号至单片机。若冷藏室门打开时间超过 10s, 则单片机 (TMP87C408N) 就由 22 脚输出蜂鸣信号, 提醒关闭冷藏室门。



## 4.3 可编程控制器控制系统

可编程控制器又称 PLC。PLC 于 20 世纪 60 年代末期在美国首先出现, 目的是用来取代继电器, 以执行逻辑、计时、计数等顺序控制功能, 建立柔性程序控制系统。在 1976 年正式命名, 并给出定义: PLC (Programmable Logic Controller) 是一种数字控制专用电子计算机, 它使用了可编程序存储器存储指令, 执行诸如逻辑、顺序、计时、计数与演算等功能, 并通过模拟和数字输入、输出等组件, 控制各种机械或工作程序。经过多年的发展, PLC 已十分成熟、完善, 并具有强大的运算、处理和数据传输功能。

### 4.3.1 可编程控制器简介

#### 1. 可编程控制器的特点

PLC 是一种专门为在工业环境下应用而设计的数字运算操作的电子装置。它采用可以编制程序的存储器, 用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序运算、计时、计数和算术运算等操作的指令, 并能通过数字式或模拟式的输入和输出, 控制各种类型的机械或生产过程。因此, PLC 及其相关的外围设备构成的系统都应该按易于与工业控制系统形成一个整体, 易于扩展其功能的原则而设计。

图 4-55 为几种常见的小型可编程控制器 (PLC) 的外形。

可编程控制器 (PLC) 的主要特点如下。

##### 1) 可靠性高, 抗干扰能力强

PLC 由于采用现代大规模集成电路技术及严格的生产工艺制造, 内部电路采取了先进的抗干扰技术, 因此具有很高的可靠性。如三菱公司生产的 F 系列 PLC 平均无故障时间高达 30 万小时。一些使用冗余 CPU 的 PLC 的平均无故障工作时间则更长。从 PLC 的机外电路来说, 使用 PLC 构成控制系统, 和同等规模的继电器接触器系统相比, 电气接线及开关接点已减少到数百甚至数千分之一, 故障也就大大降低。此外, PLC 带有硬件故障自我检测功能, 出现故障时可及时发出警报信息。在应用软件中, 应用者还可以编入外围器件的故障自诊断程序, 使系统中除 PLC 以外的电路及设备也获得故障自诊断保护。

##### 2) 系统的设计、建造工作量小, 维护方便, 容易改造

PLC 用存储逻辑代替接线逻辑, 大大减少了控制设备外部的接线, 使控制系统设计及

建造的周期大为缩短，同时维护也变得容易起来。更重要的是使同一设备通过改变程序来改变生产过程成为可能。这很适合多品种、小批量的生产场合。

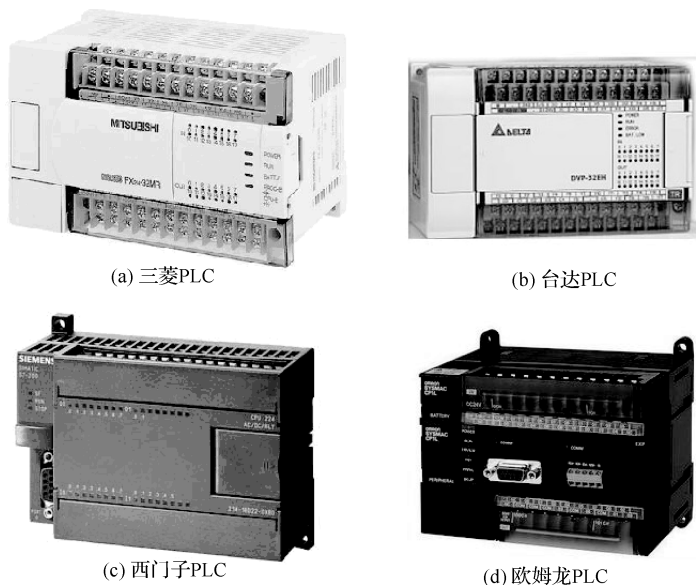


图 4-55 几种常见的小型可编程控制器（PLC）的外形

### 3) 配套齐全，功能完善，适用性强

PLC 的发展已经形成了大、中、小各种规模的系列化产品。可以用于各种规模的工业控制场合。除了逻辑处理功能以外，PLC 还具有完善的数据运算能力，可用于各种数字控制领域。目前，由于 PLC 的功能单元大量涌现，使 PLC 渗透到了位置控制、温度控制、CNC 等各种工业控制中。加上 PLC 通信能力的增强及人机界面技术的发展，使用 PLC 组成各种控制系统变得非常容易。

### 4) 易学易用，深受工程技术、操作人员欢迎

PLC 作为通用工业控制计算机，是面向工矿企业的工控设备。它的接口容易连接，编程语言易于为工程技术、操作人员接受。梯形图语言的图形符号与表达方式和继电器电路图相当接近，只用 PLC 的少量开关量逻辑控制指令就可以方便地实现继电器电路的功能。为不熟悉电子电路、不懂计算机原理和汇编语言的应用人员使用计算机从事工业控制打开了方便之门。

### 5) 体积小，重量轻，能耗低

体积小很容易装入机械内部，是实现机电一体化的理想控制设备。

## 2. 可编程控制器（PLC）的应用

目前，由 PLC 构成的系统已广泛应用于钢铁、石油、化工、电力、建材、机械制造、汽车、轻纺、交通运输、环保及文化娱乐等各个行业；使用情况大致可归纳为如下几个方面。

### 1) 开关量的逻辑控制

这是 PLC 最基本、最广泛的应用领域，它已逐步取代传统的继电器电路，实现逻辑控制、顺序控制，既可用于单台设备的控制，也可用于多机群控及自动化流水线，如注塑机、印刷机、订书机械、组合机床、磨床、包装生产线、电镀流水线等。



### 2) 运动控制

PLC 可用于圆周运动或直线运动的控制。从控制机构配置来说,早期直接用于开关量 I/O 模块连接位置传感器和执行机构,现在一般使用专用的运动控制模块,如可驱动步进电动机或伺服电动机的单轴或多轴位置控制模块。世界上各主要 PLC 厂家的产品几乎都有运动控制功能,广泛用于各种机械、机床、机器人、电梯等场合。

### 3) 模拟量控制

在工业生产过程当中,有许多连续变化的量,如温度、压力、流量、液位和速度等都是模拟量。为了使 PLC 处理模拟量,必须实现模拟量 (Analog) 和数字量 (Digital) 之间的 A/D 转换及 D/A 转换。PLC 厂家都生产配套的 A/D 和 D/A 转换模块,使可编程控制器可用于模拟量控制。

### 4) 过程控制

过程控制是指对温度、压力、流量等模拟量的闭环控制。过程控制在冶金、化工、热处理、锅炉控制等场合有非常广泛的应用。作为工业控制计算机,PLC 能编制各种各样的控制算法程序,完成闭环控制。PID 调节是一般闭环控制系统中用得较多的调节方法;大、中型 PLC 都有 PID 模块,目前许多小型 PLC 也具有此功能模块。PID 处理一般运行专用的 PID 子程序。

### 5) 数据处理

PLC 具有数学运算 (含矩阵运算、函数运算、逻辑运算)、数据传送、数据转换、排序、查表、位操作等功能,可以完成数据的采集、分析及处理。这些数据可以与存储在存储器中的参考值比较,完成一定的控制操作,也可以利用通信功能传送到别的智能装置,或将它们打印制表。数据处理一般用于大型控制系统,如无人控制的柔性制造系统;也可用于过程控制系统,如造纸、冶金、食品工业中的一些大型控制系统。

### 6) 通信及联网

PLC 通信含 PLC 间的通信及 PLC 与其他智能设备间的通信。随着计算机控制的发展,工厂自动化网络发展得很快,各 PLC 厂商都十分重视 PLC 的通信功能,纷纷推出各自的网络系统。新近生产的 PLC 都具有通信接口,通信非常方便。

## 3. PLC 及其系统的构成

图 4-56 为可编程控制器 (PLC) 的构成。

可编程控制器 (PLC) 主要由中央处理器 (CPU)、存储器、输入/输出接口单元或部件、电源等组成。

### 1) 中央处理器 (CPU)

CPU 是 PLC 的核心部件,起着控制和运算的作用。PLC 的整个工作过程都是在 CPU 的统一指挥和协调下进行的。它用扫描的方式采集由现场输入装置送来的状态或数据,并存入规定的寄存器中,同时诊断电源和 PLC 内部电路的工作状态和编程过程中的语法错误等。进入运行后,从用户程序存储器中逐条读取指令,经分析后再按指令规定的任务产生相应的控制信号去指挥有关的控制电路。因此,它能够执行程序规定的各种操作、处理输入信号、发送输出信号等。

CPU 主要由运算器、控制器及实现它们之间联系的数据、控制及状态总线构成。CPU 的速度和内存容量是 PLC 的重要参数,决定着 PLC 的工作速度、I/O 数量及软件容量等。

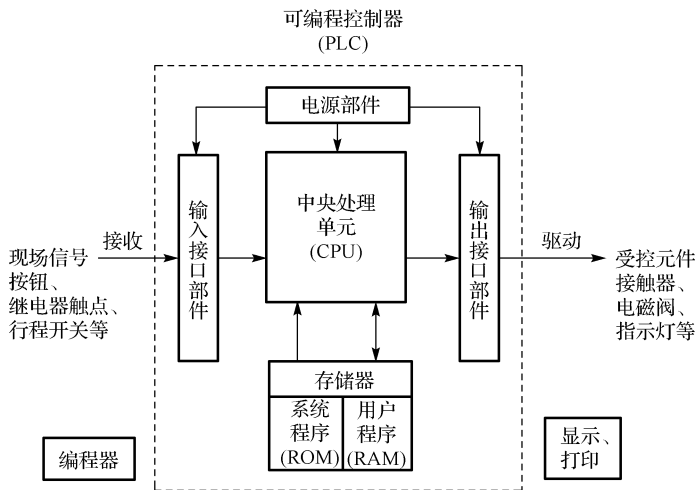


图 4-56 可编程控制器 (PLC) 构成

## 2) 存储器

CPU 根据 PLC 的系统程序赋予的功能接收并存储程序和数据到规定的存储器中。

存储器分为系统程序存储器 (ROM) 和用户程序存储器 (RAM) 两大类。

系统程序存储器用于存放系统工作程序和系统的数据。系统工作程序和系统的数据是由 PLC 生产厂家编制的，用于管理和协调 PLC 内各部分的工作。通常固化到 ROM (只读存储器) 芯片内，使用户不能直接存取 (修改) 这些信息 (系统工作程序和系统的数据)。

用户程序存储器用于存储用户工作程序和用户的数据。用户工作程序和用户的数据是由用户根据实际的要求，采用 PLC 的程序语言编写的应用程序，它决定了 PLC 的输入信号与输出信号之间的具体关系。通常固化到 RAM (随机存取存储器) 芯片内，用户可随时直接存取、修改自己的应用程序。

## 3) 输入/输出接口单元或部件 (又称 I/O 接口电路)

I/O 接口电路用于 PLC 与外部设备的联系。即 PLC 与电气设备及回路的接口，是通过输入/输出接口单元或部件 (I/O 接口电路) 完成的。输入接口单元用于接收和采集现场设备及生产过程中的各类输入数据信息 (如操作按钮、各类开关等的开关量或来自电位器、传感器等的模拟量)，即反映输入信号状态并将其转换成 CPU 所能接收和处理的数据。输出接口单元用于将 CPU 输出的控制信息转换成外部设备所需要的控制信号，并送到有关设备或现场 (如接触器、电磁阀、指示灯等)。为满足各种类型负载的要求，输出接口单元一般有继电器 (R) 输出、晶闸管 (S) 输出和晶体管 (T) 输出 3 种形式。

## 4) 电源

电源为 PLC 各模块的集成电路提供工作电源，同时还提供 24V 的工作电源。PLC 大多使用 220V 交流电源，通过内部的直流稳压单元为 PLC 内各部分电路提供稳定的直流电压，使之正常工作；另外还能够对外提供 24V (DC) 的稳定电压，为外部设备供电。PLC 一般还带有后备电池 (锂电池)，是为防止因突然断电或外部电源发生故障而造成内部主要信息意外丢失。

从结构上分，PLC 又分为固定式和组合式 (模块式) 两种。固定式 PLC 是由 CPU 板、I/O 板、显示面板、内存块、电源等组合成一个不可拆卸的整体。模块式 PLC 包括 CPU 模





块、I/O 模块、内存、电源模块、底板或机架等模块，可以按照一定规则组合配置。

PLC 系统的构成除可编程控制器（PLC）以外，还配置了编程设备、人机界面和 PLC 的通信联网等。

编程设备是 PLC 开发应用、监测运行、检查维护的器件，用于编程、对系统做一些设定、监控 PLC 及 PLC 所控制的系统的工作状况，但它不直接参与现场控制运行。编程设备主要有编程器（通过编程器，用户可进行输入、检查、调试、修改和编辑用户程序等工作）和上位机（用户可通过键盘和显示器，运行编程软件去完成编程器的工作）两类。小型 PLC 一般为手持式编程器，如 4-57 所示。上位机为计算机，如图 4-58 所示。



图 4-57 手持式编程器



图 4-58 计算机（上位机）

人机界面是指使用者与设备（机器）的控制与被控制。最简单的人机界面是现场控制信号（如按钮、开关、触点等）和受控元件（如显示器、指示灯、电磁阀、接触器、小型电动机等）。目前，一体式的人机界面（液晶屏或触摸屏）的操作员终端应用越来越广泛。

PLC 的通信联网依靠先进的工业网络技术，可以迅速有效地收集、传送生产和管理等数据。它使 PLC 与 PLC 之间、PLC 与上位计算机及其他智能设备之间能够交换信息，形成一个统一的整体，实现分散的集中控制。目前，大多数 PLC 都具有 RS-232 接口，还有一些内置支持各自通信协议的接口。PLC 的通信现在主要采用通过多点接口（MPI）的数据通信、PROFIBUS 或工业以太网进行联网，如图 4-59 所示。

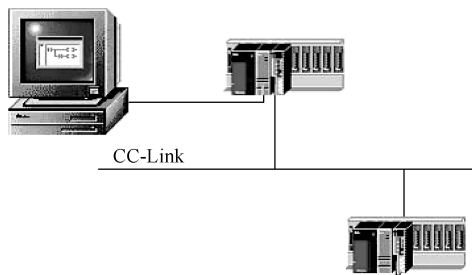


图 4-59 PLC 的通信联网

#### 4. PLC 系统的工作过程

PLC 系统的工作过程是周期循环扫描的工作过程。其扫描过程可分成以下 3 个阶段进行。

##### 1) 输入采样阶段

读入输入信号，即将按钮、开关触点、传感器等输入信号读入到存储器内，并将读入的信号一直保持到下一次信号再次被读入时为止，即经过一整个扫描周期。

##### 2) 程序执行阶段

根据读入的输入信号状态，解读用户程序逻辑，按用户逻辑得到正确的输出。

### 3) 输出刷新阶段

把逻辑解读的结果, 通过输出部件输出给现场的受控元件。如指示灯、电磁阀、小型电动机等执行机构和信号装置。

## 5. 编程语言

PLC 控制系统由硬件和软件组成。硬件是指上述的各部分。PLC 软件系统则由系统程序和用户程序两部分构成。系统程序由 PLC 厂家提供并已固化在 ROM 或 EPROM 中, 用户不能直接存取和干预。系统程序包括监控程序、编译程序、诊断程序等, 主要用于管理全机及将程序语言翻译成机器语言, 诊断机器故障。用户程序是用户根据现场控制要求, 用 PLC 的程序语言编制(编程语言)的应用程序(也就是逻辑控制), 用来实现各种控制。PLC 的编程语言包括梯形图语言(LD)、指令表语言(IL)、功能模块图语言(FBD)、顺序功能流程图语言(SFC)及结构化文本语言(ST) 5 种。

### 1) 梯形图语言(LD)

梯形图语言是 PLC 程序设计中最常用的编程语言, 其是与继电器-接触器线路类似的一种编程语言。

梯形图语言的特点是与电气操作原理图相对应, 具有直观性和对应性, 与原有继电器-接触器控制相一致, 因此易于掌握。但梯形图语言与原有的继电器-接触器控制的区别是, 梯形图中的能流不是实际意义的电流, 内部的继电器和接触器也不是实际存在的继电器, 所以, 在应用时, 需要与原有继电器-接触器控制的概念区别对待。

### 2) 指令表语言(IL)

指令表语言是与汇编语言类似的一种助记符编程语言, 和汇编语言一样由操作码和操作数组成。在适合的场合下采用 PLC 手持编程器对用户程序进行编制, 方便且易于掌握; 同时, 指令表语言与梯形图语言是一一对应的, 在 PLC 编程软件下可以相互转换。

指令表语言的特点是采用助记符来表示操做功能, 容易记忆, 便于掌握; 在手持编程器的键盘上采用助记符表示, 便于携带和操作, 可在无计算机的场合进行编程设计; 与梯形图有一一对应关系。所以, 其特点与梯形图语言基本一致。

### 3) 功能模块图语言(FBD)

功能模块图语言是与数字逻辑电路类似的一种 PLC 编程语言。采用功能模块图的形式来表示模块所具有的功能, 不同的功能模块有不同的功能。

功能模块图语言的特点是以功能模块为单位, 分析理解控制方案简单容易; 功能模块是用图形的形式表达功能, 直观性强, 对于具有数字逻辑电路基础的设计人员可很容易掌握其编程方法; 对规模大、控制逻辑关系复杂的控制系统, 由于功能模块图能够清楚地表达功能关系, 因此使编程调试时间大大减少。

### 4) 顺序功能流程图语言(SFC)

顺序功能流程图语言是为了满足顺序逻辑控制而设计的编程语言。编程时将顺序流程动作的过程分成步和转换条件, 根据转换条件对控制系统的功能流程顺序进行分配, 一步一步按照顺序动作。每一步代表一个控制功能任务, 用方框表示。在方框内含有用于完成相应控制功能任务的梯形图逻辑。

顺序功能流程图语言的特点是以功能为主线, 按照功能流程的顺序分配, 条理清楚,



便于对用户程序进行理解；避免梯形图或其他语言不能顺序动作的缺陷，同时也避免了用梯形图语言对顺序动作编程时，由于机械互锁造成用户程序结构复杂、难以理解的缺陷；用户程序扫描时间也大大缩短。

#### 5) 结构化文本语言 (ST)

结构化文本语言是用结构化文本来描述程序的一种编程语言。它是类似于高级语言的一种编程语言。在大中型的 PLC 系统中，常采用结构化文本来描述控制系统中各个变量的关系。

结构化文本语言的特点是采用高级语言进行编程，可以完成较复杂的控制运算；但需要有一定的计算机高级语言的知识 and 编程技巧，对工程设计人员要求较高；直观性和操作性较差。

### 6. PLC 与其他工业控制系统的比较

#### 1) PLC 与继电器控制系统

##### (1) 灵活性和扩展性。

由于继电器控制系统是针对特定的生产设备及其生产工艺而设计并采用硬接线方式装配而成的，因而只能完成既定的功能（包括逻辑控制、定时、计数等）；若生产工艺及过程因需要而发生改变，则整个控制系统要重新设计、重新配接线，所以其灵活性和扩展性较差。

PLC 控制由于采用了微电子技术，使大量的触点动作通过电子电路改变为无触点的动作，因此，当生产工艺及过程因需要而发生改变时，只要改变程序并改动少量的接线，就可适应生产工艺的改变；所以 PLC 控制的灵活性、适应性、扩展性都很好。

##### (2) 控制速度。

继电器控制系统是依靠触点的机械动作来实现控制的，触点的断开、闭合工作速度较慢，一般为毫秒级，因此工作频率较低、速度较慢，还会出现触点的抖动现象。

PLC 控制是通过程序指令及电子电路来实现无触点动作而完成控制的，一条指令的执行时间一般为微秒级，因此工作频率高、速度快。另外，PLC 内部有严格的同步控制，使触点的抖动现象不会出现。

##### (3) 定时与计数控制。

继电器控制系统通常利用时间继电器来实现时间控制；而时间继电器普遍存在定时精度差，定时范围窄，且易受环境温度和湿度变化的影响等问题。

PLC 控制使用的是集成电路的定时器，时钟脉冲由晶体振荡器产生，因此精度高，定时范围可从 0.001s 开始到小时级，且定时时间不受环境温度和湿度变化的影响；使用时可根据需要在程序中设置及修改。

继电器控制系统一般不具备计数功能；PLC 控制可实现计数功能。

##### (4) 可靠性和维护性。

继电器控制系统使用了大量的机械触点，连接引线较多；在机械触点动作时就带来了机械磨损，还会使电弧烧损，需经常检查和维护，因此寿命短，可靠性和维护性差。

PLC 控制采用微电子技术的电路来实现无触点化，使开关和触点动作不存在磨损和电弧烧损的现象，因此寿命长、维护少；而且 PLC 还配置自检和监督等功能，能迅速检查故障并及时显示。

#### (5) 设计与施工。

继电器控制系统的设计、施工、调试等必须一次进行，整个周期较长；连接引线多且复杂，修改也困难。

PLC 控制是在系统设计完成之后，现场施工和控制逻辑（程序的编制）可同时进行；周期短，调试和修改都很方便。

通过以上的比较可见，传统的继电器控制大多数将被 PLC 取代。

### 2) PLC 与微机

#### (1) 系统功能。

微机系统配有较强的系统软件和应用软件，以便进行文件管理、存储器管理、设备管理等，方便使用者。

由于 PLC 是专为工业现场应用而设计的，所以 PLC 只有简单的监控程序，完成用户程序的执行、监视，以及用户程序的输入和修改、故障的检查等功能。

#### (2) 运算速度和存储容量。

微机的运算速度快，一般为毫秒级；由于大量的系统软件和应用软件存在，因此存储容量大。

PLC 因接口的响应速度较慢而影响数据的处理速度，所以 PLC 运算速度一般都较慢；另外，PLC 的软件比较少，故存储容量也少。

#### (3) 输入与输出。

由于微机系统的输入/输出（I/O）设备与主机之间是采用弱电联系，因此一般不需要电气隔离。

PLC 所控制的设备为强电设备，因此需要电气隔离，故 PLC 的输入/输出（I/O）均采用光电耦合。

#### (4) 程序。

微机具有丰富的程序语言，因此要求使用者具有较高的计算机专业知识和微机软件编程的能力。

PLC 采用面向控制过程、面向问题的“自然语言”进行编程，提供给用户的编程语句数量少、简单，使不熟悉计算机的人也能很快地掌握使用，便于推广应用，因此易于学习和掌握。

#### (5) 使用环境与应用范围。

微机对环境的要求较高，工作在干扰小，温度和湿度都有一定要求的地方；除了控制领域外，还应用于科学计算、数据处理、通信等多方面。

PLC 主要应用于工业控制，因此对环境的要求不高，可在恶劣的工业现场进行工作。

### 3) PLC 与工业控制计算机系统

工业控制计算机系统是在微机适应工业生产控制要求的基础上发展起来的控制设备，因此其硬件和软件直接取决于微机，并能在恶劣的工业现场环境下可靠运行。但由于工业现场具有电磁干扰、电源波动、机械振动等，因此如不采取措施，同样使工业控制计算机系统不能正常工作，抗干扰能力比 PLC 差。而 PLC 是专为工业现场应用而设计的，具有更高的可靠性。

在模型复杂、计算量大且较难、实时性要求较高的环境中，工业控制计算机则更能发挥其专长。



### 4.3.2 三菱可编程控制器

日本三菱公司继 F1 和 F2 系列之后推出 FX2 系列产品。

#### 1. FX2 系列 PLC 的主要软元件

FX2 系列 PLC 的常用软元件及其作用见表 4-6。

表 4-6 FX2 系列 PLC 的常用软元件及其作用

软元件名称	字母表示	作用
输入继电器	X	专用于接收外部输入设备（如开关、传感器等）的信号
输出继电器	Y	用于驱动外部负载（如指示灯、线圈等）
辅助继电器	M	类似继电器控制系统中的中间继电器
定时器	T	相当于继电器控制系统中的时间继电器
计数器	C	在程序中用于计数控制
状态器	S	在步进控制程序中使用

※ 各种软元件的功能、编号及其使用方法应参照相关的技术手册。

#### 2. FX2 系列 PLC 的基本指令

FX2 系列 PLC 的基本指令及其功能见表 4-7。

表 4-7 XF2 系列 PLC 的基本指令及其功能

指令	名称	功能
LD	取	用于与左母线连接的第一个以 X、Y、M、T、C、S 开始的动合触点（常开触点）。还可与 ANB、ORB 指令配合，用于电路块的开始
LDI	取反	用于与左母线连接的第一个以 X、Y、M、T、C、S 开始的动断触点（常闭触点）。还可与 ANB、ORB 指令配合，用于电路块的开始
OUT	输出	用于对 Y、M、T、C 的线圈与右母线连接，以接受驱动
AND	与	用于 X、Y、M、T、C、S 的单动合触点与前面的串联连接，完成逻辑“与”运算
ANI	与非	用于 X、Y、M、T、C、S 的单动断触点与前面的串联连接，完成逻辑“与非”运算
OR	或	用于 X、Y、M、T、C、S 的单动合触点与前面的并联连接，完成逻辑“或”运算
ORI	或非	用于 X、Y、M、T、C、S 的单动断触点与前面的并联连接，完成逻辑“或非”运算
ANB	块与	用于电路块（两个或以上触点的并联回路）的串联
ORB	块或	用于电路块（两个或以上触点的串联支路）的并联
SET	置位	对 Y、M、S 等元件动作并保持
RST	复位	对 Y、M、S、T、C 等元件复位（清零）并保持
PLS	上升沿脉冲	在输入信号的上升沿产生一个脉冲输出
END	结束	在程序结束时，必须有结束指令

※ 各种指令的功能及其使用方法应参照相关的技术手册。

#### 3.应用举例

##### 【例 4-8】顺序控制

M7130 平面磨床是一种精密加工机床（参见第 2 章）。其控制要求为多台电动机驱动，并只要单方向旋转；还要求冷却泵电动机与砂轮电动机具有顺序联锁关系，即在砂轮电动机启动后才能启动冷却泵电动机。

依据控制要求编制相关程序（指令）。

输入、输出设备（I/O）分配见表 4-8。

表 4-8 I/O 分配表

输入设备	输入接口编号	输出设备	输出接口编号
砂轮电动机热继保护	X000	控制砂轮电动机接触器	Y001
冷却泵电动机热继保护	X001	控制冷却泵电动机接触器	Y002
启动按钮	X002		
停止按钮	X003		

梯形图及其指令语句如图 4-60 所示。

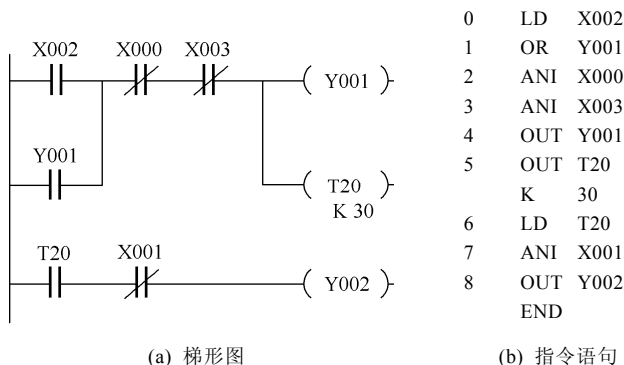


图 4-60 梯形图与指令语句

### 4.3.3 松下可编程控制器

#### 1. FP0 系列 PLC 的主要软元件

FP0 系列 PLC 的主要软元件的功能、编号及其使用方法与三菱 FX2 系列 PLC 基本相同。如输入继电器（X）、输出继电器（Y）、辅助继电器（R）、定时器（T）、计数器（C）等。

#### 2. FP0 系列 PLC 的基本指令

FP0 系列 PLC 的基本指令及其功能见表 4-9。

表 4-9 FP0 系列 PLC 的基本指令及其功能

指令	名称	功能
ST	取	用于与左母线连接的第一个以 X、Y、R、T、C、S 开始的动合触点（常开触点）。还可与 ANS、ORS 指令配合，用于电路块的开始
ST/	取反	用于与左母线连接的第一个以 X、Y、R、T、C、S 开始的动断触点（常闭触点）。还可与 ANS、ORS 指令配合，用于电路块的开始
OT	输出	用于对 Y、R、T、C 的线圈与右母线连接，以接受驱动
AN	与	用于 X、Y、R、T、C、S 的单动合触点与前面的串联连接，完成逻辑“与”运算
AN/	与非	用于 X、Y、R、T、C、S 的单动断触点与前面的串联连接，完成逻辑“与非”运算
OR	或	用于 X、Y、R、T、C、S 的单动合触点与前面的并联连接，完成逻辑“或”运算
OR/	或非	用于 X、Y、R、T、C、S 的单动断触点与前面的并联连接，完成逻辑“或非”运算
ANS	块与	用于电路块（两个或以上触点的并联回路）的串联

续表

指 令	名 称	功 能
ORS	块或	用于电路块（两个或以上触点的串联支路）的并联
SET	置位	对 Y、R 等元件动作并保持
RST	复位	对 Y、R 等元件复位（清零）并保持
DF	上升沿脉冲	在输入信号的上升沿产生一个脉冲输出
TMR	定时器	设置以 0.01s 为定时单位的延时定时
TMX	定时器	设置以 0.1s 为定时单位的延时定时
TMY	定时器	设置以 1s 为定时单位的延时定时
ED	结束	在程序结束时，必须有结束指令

※ 各种指令的功能及其使用方法应参照相关的技术手册。

3.应用举例

【例 4-9】启动控制

大容量异步电动机按相关规定在启动时应进行降压启动。降压启动方法很多，Y—△降压启动方法是常用的一种。

根据控制要求编制相关程序（指令）。

Y—△降压启动输入、输出设备（I/O）分配见表 4-10。

表 4-10 Y—△降压启动 I/O 分配表

输 入 设 备	输入接口编号	输 出 设 备	输出接口编号
热继保护	X00	电源接触器	Y01
启动按钮	X01	Y运行接触器	Y02
停止按钮	X02	△运行接触器	Y03

Y—△降压启动梯形图及其指令语句如图 4-61 所示。

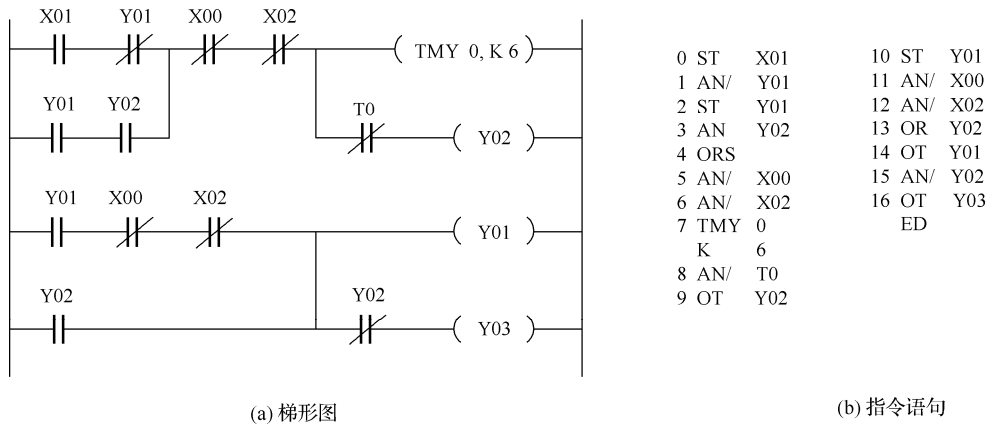


图 4-61 Y—△降压启动梯形图与指令语句

4.3.4 日立可编程控制器

日立公司生产的可编程控制器（PLC）以欧姆龙 C 系列 P 型机为主。

### 1. C 系列 P 型机 PLC 的主要软元件

C 系列 P 型机 PLC 的常用软元件及其作用见表 4-11。

表 4-11 C 系列 P 型机 PLC 的常用软元件及其作用

软元件名称	编 号 表 示	作 用
输入继电器	0000~0415	专用于接收外部输入设备（如开关、传感器等）的信号
输出继电器	0500~0911	用于驱动外部负载（如指示灯、线圈等）
辅助继电器	1000~1807	类似继电器控制系统中的中间继电器
保持继电器	HR000~HR915	具有掉电保护功能的中间继电器
定时器	TIM00~TIM47	相当于继电器控制系统中的时间继电器
计数器	CNT00~CNT47	在程序中用于计数控制

※ 各种软元件的功能、编号及其使用方法应参照相关的技术手册。

### 2. C 系列 P 型机 PLC 的基本指令

C 系列 P 型机 PLC 的基本指令及其功能见表 4-12。

表 4-12 C 系列 P 型机 PLC 的基本指令及其功能

指 令	名 称	功 能
LD	取	用于与左母线连接的各种软元件的第一个开始的动合触点（常开触点）。还可与 AND-LD、OR-LD 指令配合，用于电路块的开始
LD-NOT	取反	用于与左母线连接的各种软元件的第一个开始的动断触点（常闭触点）。还可与 AND-LD、OR-LD 指令配合，用于电路块的开始
OUT	输出	用于除输入继电器以外的各种软元件的线圈与右母线连接，以接受驱动
AND	与	用于各种软元件的单动合触点与前面的串联连接，完成逻辑“与”运算
AND-NOT	与非	用于各种软元件的单动断触点与前面的串联连接，完成逻辑“与非”运算
OR	或	用于各种软元件的单动合触点与前面的并联连接，完成逻辑“或”运算
OR-NOT	或非	用于各种软元件的单动断触点与前面的并联连接，完成逻辑“或非”运算
AND-LD	块与	用于电路块（两个或以上触点的并联回路）的串联
OR-LD	块或	用于电路块（两个或以上触点的串联支路）的并联
TIM	定时	按延时设定值进行延时操作
CNT	计数	按设定值进行计数操作
END	结束	在程序结束时，必须有结束指令

※ 各种指令的功能及其使用方法应参照相关的技术手册。

### 3.应用举例

#### 【例 4-10】循环控制

根据不同的加工工艺要求，机械滑台（动力滑台）可实现多种工作循环（详细见第 2 章内容）。机械滑台通常由快速电动机和工作进给电动机分别拖动滑台实现快速移动和工作进给。

具有一次工作进给的机械滑台控制，根据控制要求编制相关程序（指令）。

具有一次工作进给的机械滑台控制的输入、输出设备（I/O）分配见表 4-13。

具有一次工作进给的机械滑台控制的工作流程、梯形图及其指令语句如图 4-62 所示。



表 4-13 具有一次工作进给的机械滑台控制的 I/O 分配表

输入设备	输入接口编号	输出设备	输出接口编号
快进启动按钮 SB1	0000	制动器 YB	0500
原点限位开关 SQ1	0001	快速电动机前进接触器	0501
快转工限位开关 SQ2	0002	快速电动机后退接触器	0502
终端限位开关 SQ3	0003	工进电动机运行接触器	0503
超程保护开关 SQ4	0004		

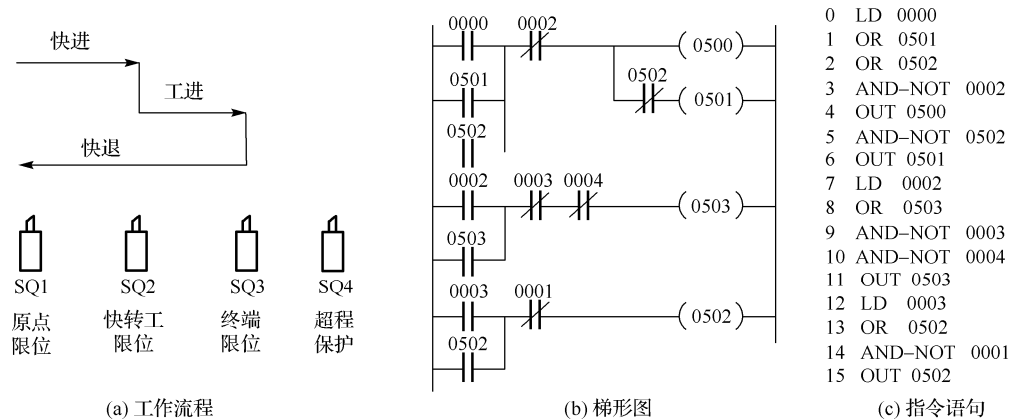


图 4-62 具有一次工作进给的机械滑台控制的工作流程、梯形图及其指令语句

训练项目 7：可编程控制器（PLC）的基本操作

1. 训练目的

熟练掌握可编程控制器（PLC）的 I/O 连接方法、编程、调试等。掌握编程器的基本操作；能使用编程软件进行编程（包括梯形图和指令语句两种基本编程方法）。了解对继电器-接触器控制系统的 PLC 改造的方法。

2. 训练内容

运料小车的自动往返控制。

控制要求：小车启动，停车 60s 装料，然后自动前进，到卸料斗后，停车 60s 卸料，最后返回装料斗重新装料，……，往复循环。小车在运行的任意位置均可手动停车。工作过程如图 4-63 所示。

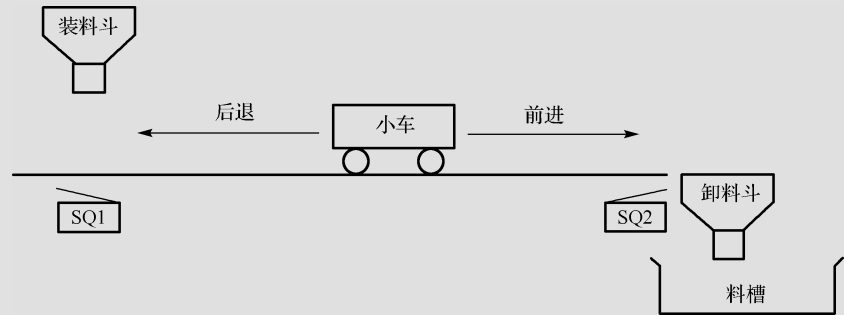


图 4-63 装料小车的工作过程

3. 设备、材料

设备、材料清单见表 4-14。

表 4-14 设备、材料清单

名 称	规格（参考）	数 量
可编程控制器	三菱 FX2N-32MR	1 台
便携式编程器	三菱 FX-20P	1 台
按钮		若干
行程开关		若干
绝缘导线	0.5mm <sup>2</sup> 、单支（单股）	若干
常用电工工具		1 套

4. 训练步骤

- (1) 按控制要求绘 I/O 分配表；
- (2) 根据 I/O 分配表编写梯形图、指令语句程序；
- (3) 通过便携式编程器输入指令语句程序，并检查无误；
- (4) 连接 I/O 设备（如按钮、行程开关等）；
- (5) 连接完毕，检查无误后在指导老师的指导下，接通电源；
- (6) 按下相应的按钮、行程开关，观察可编程控制器上的输出指示灯；
- (7) 检查结果是否符合控制要求；
- (8) 结束工作，清理工作位置，归还材料、工具等。

5. 参考

梯形图如图 4-64 所示。

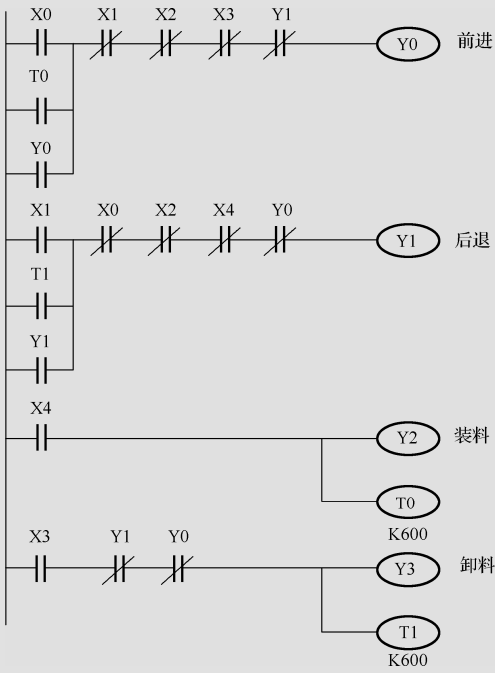


图 4-64 梯形图



## 6. 思考

试编制小车在前进、后退过程中分别有指示灯指示其运动方向的程序。

**相关知识：编程软件 FXGP-WIN 在 Windows 操作系统下的运行**

- (1) 使用编程软件 FXGP-WIN 可编制梯形图、指令语句的程序，并可将程序存储为文件。
- (2) 通过编程软件 FXGP-WIN 实现各种监控和测试功能。
- (3) 用 SC-09 编程电缆使计算机的串口与 PLC 连接。
- (4) 下载三菱 PLC 编程软件 FXGPWIN V2.0。
- (5) 启动编程软件 FXGP-WIN→新建程序文件→在梯形图视图中输入提供的梯形图程序→切换到语句表视图对程序进行修改，并可切换回梯形图视图进行查阅→保存程序文件→向 PLC 下载程序→PLC 运行→在编程软件中使用监控方式观察程序的运行情况。



## 本章小结

- 工业控制计算机简称工控机，是一种采用总线结构，对生产过程及机电设备、工艺装备进行检测与控制的工具。
- 工控机具有重要的计算机属性和特征。
- 工控机由主机、输出接口模块、通信接口模块、信号调理单元、远程采集模块、工控软件包等部分构成。
- 直接数字控制系统（DDC 系统）用一台计算机对被控参数进行检测，再根据设定值和控制算法进行运算，然后输出到执行机构对生产进行控制，使被控参数稳定在给定值上。其具有在线实时控制、分时方式控制、灵活性和多功能性等特点。
- 集散控制系统（分布控制系统、DCS 系统）利用计算机技术对生产过程进行分散控制、集中操作、分级管理、分而自治和综合协调。其具有通用性强、系统组态灵活、控制功能完善、数据处理方便、显示操作集中、人机界面友好、安装简单规范化、调试方便、运行安全可靠等特点。
- 现场总线控制系统（FCS 系统）是全数字串行、双向通信系统；利用现场总线这一开放的、具有互操作性的网络，将现场各个控制器、探头、仪表及设备 etc 相互连接，并监测和控制。其具有很好的开放性、互操作性、互换性、高度分散性、更强的适用性等特点。
- 监督控制（SEC）系统是利用计算机对工业生产过程进行监督管理和控制的数字控制系统。递阶控制（HDACS）系统是将一个复杂的任务分解成若干个由不同的子系统分时执行的子任务，从而达到控制目的。
- 典型的工业自动化系统一般采用三层网络结构，即从下往上依次是基础自动化、过程自动化和管理自动化，其核心部分是基础自动化和过程自动化。
- 单片微型计算机（单片机）是指一片具有数据输入、输出、存储、运算等功能的大规模集成电路芯片的计算机。
- 单片机的类型、种类相当多，其结构、特性、特点也不相同。

- 单片机要实现或达到控制的目的，必须具备计算机的两大基本部分，即硬件（传感器、接口电路、单片机、驱动电路、键盘、显示器等）和软件（各种程序）。
- 可编程控制器（PLC）是一种数字控制专用（专门为在工业环境下应用而设计的）电子计算机。
- 可编程控制器（PLC）主要由中央处理器、存储器、输入/输出接口单元或部件、电源等组成。
- 中央处理器（CPU）是 PLC 的核心部件，起着控制和运算的作用。PLC 的整个工作过程都是在 CPU 的统一指挥和协调下进行的。
- 存储器有系统程序存储器 ROM（用于存放系统程序和系统数据）和用户程序存储器 RAM（用于存储用户程序和用户数据）。
- 输入/输出接口单元（I/O 接口电路）实现 PLC 与外部设备的联系。
- PLC 系统的工作过程是周期循环扫描（即输入采样阶段、程序执行阶段、输出刷新阶段）的工作过程。
- PLC 最常用的编程语言是梯形图和指令表。梯形图是与继电器-接触器线路类似的一种编程语言，其特点是与电气操作原理图相对应；指令表是与汇编语言类似的一种助记符编程语言。两者是一一对应的关系，可以相互转换。
- PLC 与其他工业控制系统的比较。



## 习 题 4

### 一 单选题

1. 工控机的核心部件是（ ）。  
A. 主板                      B. 机箱                      C. 电源                      D. A 和 C
2. 工控机的输出接口模板包括（ ）等。  
A. 模拟量输出      B. 开关量输出      C. 脉冲量输出      D. A、B、C
3. DDC 系统是（ ）控制系统。  
A. 开环                      B. 闭环                      C. 不稳定                      D. 没有反馈
4. 分时方式控制是按固定的采样周期对所有被控制回路逐个进行采样，并（ ），以实现一台计算机对多个被控回路的控制。  
A. 依次计算      B. 形成输入      C. 形成输出      D. A 和 C
5. DCS 系统利用计算机技术对生产过程进行集中监测、操作、管理和（ ）。  
A. 集中控制      B. 分散控制      C. 集中在线      D. 分散在线
6. DCS 系统采用“三点一线”式结构，“一线”是指 DCS 系统的（ ）。  
A. 骨架计算机网络                      B. 现场 I/O 控制站  
C. 操作员站                      D. 工程师站
7. 现场总线控制系统又称为（ ）系统。  
A. DDC                      B. DCS                      C. FCS                      D. HDCS



8. ( ) 是FCS系统的核心。
- A. 总线协议                      B. 数字智能现场装置  
C. 信息处理现场化              D. 通信光纤电缆
9. ( ) 是FCS系统的基础。
- A. 总线协议                      B. 数字智能现场装置  
C. 信息处理现场化              D. 通信光纤电缆
10. SEC系统是利用计算机对工业生产过程进行( )的数字控制系统。
- A. 监督管理      B. 控制              C. 维护              D. 监督管理和控制
11. 操作指导系统是一种( )控制结构系统。
- A. 开环              B. 闭环              C. 不稳定              D. 具有反馈
12. SEC系统采用( )形式的结构。
- A. 开环              B. 闭环              C. 不稳定              D. 没有反馈
13. 递阶分布控制系统简称( )系统。
- A. DDC              B. DCS              C. FCS              D. HDCS
14. 典型的工业自动化系统一般采用( )、过程自动化和管理自动化的网络结构。
- A. 基础自动化      B. 生产自动化              C. 流程自动化      D. 工艺自动化
15. 工业自动化系统的核心部分是( )。
- A. 基础自动化      B. 过程自动化              C. 管理自动化      D. A和B
16. 单片机的ROM负责存储( )、常数、数据表格等。
- A. 变量              B. 工作区              C. 程序              D. A和B
17. 单片机用于存储( )等。
- A. 变量              B. 工作区              C. 程序              D. A和B
18. MCS-51单片机集成了( )位中央处理单元。
- A. 4                  B. 6                  C. 8                  D. 16
19. 8051 CPU的内部有( )和。
- A. 运算器              B. 控制器              C. 工作区              D. A和B
20. MCS-96单片机集成了( )位中央处理单元。
- A. 4                  B. 6                  C. 8                  D. 16
21. ARM Cortex-M0处理器是一个门数( )、能效非常高的处理器。
- A. 低                  B. 非常低              C. 高                  D. 非常高
22. 单片机控制系统的( )对被控对象的现场信号及其他信号进行采集,并转换成电信号输出。
- A. 传感器              B. 接口电路              C. 驱动电路              D. 单片机
23. 接口电路必须与( )相对应,才能完成信号的处理。
- A. 传感器              B. 显示器              C. 驱动电路              D. 单片机
24. 变频器是交流电动机所采用的( )调速方式。
- A. 无级                  B. 有级                  C. 无极性              D. 有极性
25. PWM形成电路的作用是用来产生( )信号。
- A. 交流信号              B. 直流信号              C. 模拟信号              D. 正弦脉宽调制信号

26. PLC 是为在 ( ) 环境下应用而设计的数字运算操作的电子装置。  
A. 正常      B. 通用      C. 工业      D. 特殊
27. 中央处理器是 PLC 的核心部件,起着 ( ) 和运算的作用。  
A. 运算      B. 控制      C. 存储      D. A 和 B
28. PLC 整个工作过程是在 ( ) 的统一指挥和协调下进行的。  
A. 运算器      B. 控制器      C. 存储器      D. CPU
29. PLC 系统的工作过程是 ( ) 扫描的工作过程。  
A. 周期间断      B. 周期循环      C. 间断      D. 间断循环
30. ( ) 阶段将逻辑解读的结果,通过输出部件输出给现场的受控元件。  
A. 输入采样      B. 输出刷新      C. 程序执行      D. 间断
31. ( ) 阶段将读入输入信号存储到存储器内并保持到再次被读入。  
A. 输入采样      B. 输出刷新      C. 程序执行      D. 间断
32. ( ) 阶段将根据输入信号状态,解读用户程序逻辑,并正确输出。  
A. 输入采样      B. 输出刷新      C. 程序执行      D. 间断
33. 系统程序由 PLC 厂家提供并已固化在 ( ) 中。  
A. ROM      B. RAM      C. 用户存储器      D. 随机存储器
34. 系统程序包括 ( )、编译程序、诊断程序等。  
A. 监控程序      B. 用户程序      C. 使用程序      D. A、B
35. PLC 最常用的编程语言是 ( )。  
A. 梯形图      B. 指令表      C. 顺序功能流程图      D. A、B

## 二、判断题

1. 工控机是专门为工业现场而设计的微型计算机。 ( )
2. 工控机的输入接口模板包括模拟量输入、开关量输入、频率量输入等。 ( )
3. 工控机必须具有相应功能的控制软件才能工作。 ( )
4. DDC 系统是一种开环控制系统。 ( )
5. 联机控制是指受控对象的全部操作都是在计算机直接参与下进行的,无须系统管理人员干预。 ( )
6. 一个实时系统不一定是在线系统,但一个在线系统必定是实时系统。 ( )
7. 分时方式控制是按固定的采样周期对所有被控制回路逐个进行采样,并依次计算和形成输出,以实现一台计算机对多个被控回路的控制。 ( )
8. DDC 系统的最大特点是具有很大的灵活性和多功能控制能力。 ( )
9. DCS 系统是利用计算机技术对生产过程进行集中监测、操作、管理和集中控制。 ( )
10. DCS 系统由现场 I/O 控制站、操作员站和工程师站通过局域网络互联在一起形成一个系统。 ( )
11. 现场总线控制系统利用现场总线网络将现场各个控制器和仪表及仪表设备等互联而构成。 ( )
12. 总线协议是FCS 系统的基础。 ( )



13. 数字智能现场装置是FCS系统的核心。 ( )
14. FCS系统实质上是一种开放的、具有互操作性的、彻底集中的分布式控制系统。 ( )
15. 操作指导系统是一种开环控制结构系统。 ( )
16. SEC系统是在操作指导系统的基础上发展起来的, 由于操作指导系统是一种开环控制结构, 因此SEC系统也是一种开环控制结构系统。 ( )
17. 典型的工业自动化系统一般采用生产自动化、过程自动化和管理自动化的网络结构。 ( )
18. 工业自动化系统的核心部分是管理自动化。 ( )
19. MCS-51具有比较大的寻址空间, 地址线可达16条。 ( )
20. MSP430系列单片机是8位单片机。 ( )
21. ARM Cortex-M0处理器是一个门数非常高、能效非常高的处理器。 ( )
22. ARM Cortex-M3处理器是一个低能耗处理器。 ( )
23. 单片机要实现或达到控制的目的, 必须具备计算机的硬件和软件两大基本部分。 ( )
24. 接口电路必须与驱动电路相对应, 才能完成信号的处理。 ( )
25. 变频调速器是实现交流电动机的有级调速方式。 ( )
26. PLC是专用于工业环境下的数字运算操作的电子装置。 ( )
27. PLC的整个工作过程是在CPU的统一指挥和协调下进行的。 ( )
28. 存储器是PLC的核心部件, 起着控制和运算的作用。 ( )
29. PLC系统的工作过程是间断循环扫描的工作过程。 ( )
30. 输出刷新阶段是将输入信号读入并保持整个扫描周期。 ( )
31. 程序执行阶段将逻辑解读的结果, 通过输出部件输出给受控元件。 ( )
32. 用户程序由PLC厂家提供并已固化在ROM或EPROM中。 ( )
33. 系统程序由PLC厂家提供, 用户可直接存取和干预。 ( )
34. 系统程序主要用于管理全机并将程序语言翻译成机器语言, 诊断机器故障。 ( )
35. PLC最常用的编程语言是梯形图和指令表。 ( )
36. 梯形图和指令表是可以相互转换的。 ( )

### 三、多选题

1. 工控机是由 ( ) 等部分构成。  
A. 主机                      B. 机箱                      C. 输出接口模块  
D. 通信接口模块          E. 信号调理单元          F. 远程采集模块  
G. 工控软件包              H. 硬件包
2. 工控机的信号调理单元包括对输入信号的 ( ) 等处理, 对输出信号进行 ( ) 等。  
A. 隔离                      B. 驱动                      C. 多路转换                  D. 放大  
E. 统一信号电平          F. 被控对象                  G. 检测部分                  H. 电压转换
3. 工控机的软件包支持 ( ) 等功能。

- A. 通信                      B. 控制                      C. 监视                      D. 画面显示  
E. 趋势显示                  F. 报表                      G. 报警                      H. 数据采集
4. DCS 系统是由 ( ) 等相互渗透发展而产生的一种新型控制技术。  
A. 计算机技术                  B. 测量控制技术              C. 信号处理技术  
D. 通信网络技术              E. 趋势显示技术              F. CRT 技术  
G. 图形显示技术              H. 人机接口技术
5. FCS 具有 ( ) 等特点。  
A. 很好的开放性、互操作性和互换性                  B. 全数字通信  
C. 智能化与功能自治性                                  D. 高度集中性  
E. 高度分散性    F. 很强的适用性  
G. 系统集成较复杂    H. 增加现场接线
6. 典型的工业自动化系统一般采用 ( ) 等自动化的网络结构。  
A. 基础                          B. 生产                          C. 流程                          D. 工艺  
E. 过程                          F. 管理                          G. 设计                          H. 资料
7. 单片微型计算机是指具有数据 ( ) 等功能的大规模集成电路芯片的计算机。  
A. 设计                          B. 输入                          C. 输出                          D. 管理  
E. 打印                          F. 运算                          G. 显示                          H. 存储
8. 单片机的结构组成包括 ( ) 等。  
A. CPU                          B. 数据存储器                  C. 程序存储器  
D. 定时器/计数器              E. 输入/输出接口              F. 时钟电路  
G. 管理系统                      H. 指令系统
9. 单片机控制系统的硬件是由 ( ) 等组成的。  
A. 单片机                          B. RAM                          C. 接口电路                  D. 传感器  
E. 驱动电路                      F. 键盘                          G. 显示器                      H. 负载
10. 交流变频调速系统是由 ( ) 等部分构成的。  
A. 单片机控制模块              B. PWM 形成电路                  C. 信号检测电路  
D. 变频调速主回路              E. 功率晶体管驱动电路              F. 电源电路  
G. 辅助输入/输出电路              H. 外壳
11. 变频调速系统的软件主要由 ( ) 等组成。  
A. 软件程序                          B. 主程序                          C. 外部中断服务程序  
D. 显示子程序                      E. 串行通信子程序                  F. 电源电路程序  
G. 键盘输入子程序                  H. 高速输入部件中断子程序
12. 可编程控制器的应用包括 ( ) 等方面。  
A. 开关量的逻辑控制              B. 模拟量的逻辑控制                  C. 模拟量控制  
D. 运动控制                          E. 过程控制                          F. 速度控制  
G. 通信及联网                      H. 数据处理
13. PLC 具有 ( ) 等功能, 可以完成数据 ( )。  
A. 数学运算                          B. 数据传送                          C. 数据转换  
D. 排序                                  E. 查表                                  F. 位操作



- #### 四、分析题

- 155

# 第5章 数控技术

## 学习目标

本章主要讲述的是数控技术的基本知识。通过本章的学习，应能掌握数控技术中的有关概念及其系统的基本构成、作用；知道数控系统的分类及其应用；了解数控技术的发展及其趋势；明确液压、气动技术与数控系统的相互关系、作用；掌握液压、气动技术及其基本工作原理、过程；了解液压、气动技术在实际工作中的应用。

### 主要内容

- 数控系统概述。
- 液压控制技术。
- 气动控制技术。
- 应用实例。



## 5.1 数控系统概述

采用数控技术的控制系统称为数控系统，相应的设备称为数控设备。如图 5-1 所示为数控设备——数控铣床。数控技术的全称为数字控制（Numerical Control）技术，简称数控技术。数控技术是指采用数字化信号（由数字、文字和符号组成的数字指令）对设备的运行及其加工过程进行控制的一种自动化技术。

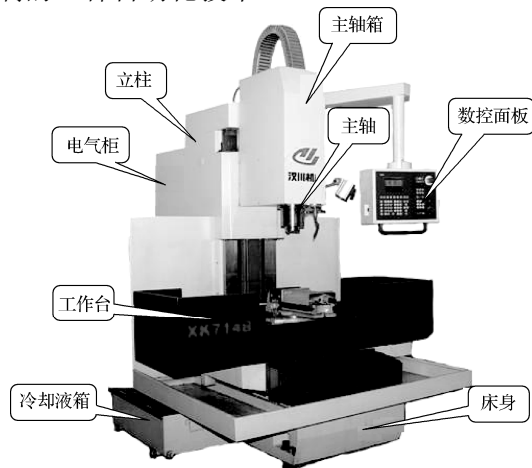


图 5-1 数控设备——数控铣床

### 5.1.1 数控技术的发展简介

早期的数控系统由各种逻辑及记忆元件组成的数字逻辑电路构成, 并采用固定布线的硬件结构来实现数控功能。到 20 世纪 80 年代初, 随着计算机的软、硬件技术的飞速发展和自动化程度的不断提高, 各种设备及技术对计算机的控制应用越来越广泛, 因而出现了能进行人机对话式自动编制程序的数控装置。计算机替代原先用硬件逻辑电路组成的数控装置, 使输入数据的存储、处理、运算、逻辑判断等各种控制机能的实现, 均可通过计算机软件来完成。

数控的产生依赖于数据载体和二进制形式数据运算的出现。

目前, 数控技术也叫计算机数控技术 (Computerized Numerical Control, CNC), 它是采用计算机实现数字程序控制的技术。这种技术用计算机按事先存储的控制程序来执行对设备的控制功能。因此, 数控技术是用数字、文字和符号组成的数字指令来实现一台或多台设备 (特别是机械设备) 动作控制的技术。它所控制的通常是位置、角度、速度等机械量和与机械能量流向有关的开关量。

在 CNC 系统中, 计算机的硬件结构采用标准的总线结构, 可通过软件、硬件两种方式实现数字信息的处理和控制在, 从而大大增强了数控系统的功能和灵活性, 使数控系统具有“柔性”。

数控技术是与机床控制密切结合发展起来的。1952 年, 第一台数控机床问世, 成为世界机械工业史上一件划时代的事件, 推动了自动化的发展。随着计算机技术的发展和微处理器的采用, 数控技术在机床中得到了飞速发展和广泛的应用。

数控机床 (装备了数控系统) 是为解决复杂的形状和表面的自动化加工而产生的。因此, 数控技术和数控装备是制造工业现代化、信息化的重要基础和重要组成部分。这个基础是否牢固直接影响一个国家的经济发展和综合国力, 关系到一个国家的战略地位。为此, 世界上各个工业发达国家均采取重大措施来发展自己的数控技术及其产业, 并通过大力发展以数控技术为核心的先进制造技术来加速其经济发展、提高其综合国力和国家地位。

### 5.1.2 数控技术的应用

#### 1. 制造行业

机械制造行业是最早应用数控技术的行业, 它担负着为国民经济各行业提供先进装备的重任。如汽车、航空、船舶、发电行业的发动机及其零件、变速箱, 曲轴柔性加工生产线上用的数控机床和高速加工中心 (见图 5-2), 以及焊接、装配、喷漆机器人、板件激光焊接机和激光切割机等。

#### 2. 信息行业

在信息行业中, 从计算机到网络、移动通信、遥测、遥控等设备, 都需要采用基于超精技术、纳米技术的制造装备。如芯片制造的引线键合机、晶片键合机和光刻机等设备的控制都需要采用数控技术。

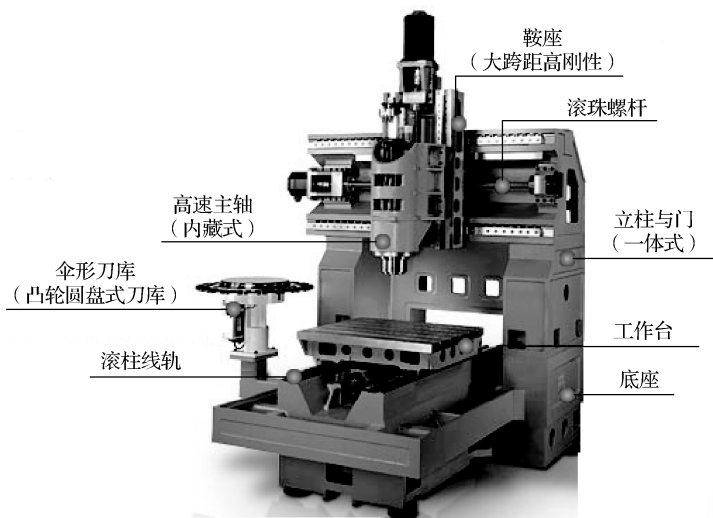


图 5-2 高速加工中心

### 3. 医疗设备行业

在医疗设备行业，许多先进的、现代化的医疗诊断及治疗设备都采用了数控技术，如 CT 诊断仪、全身刀治疗机及基于视觉引导的微创手术机器人等。

### 4. 国防军事

现代化的军事装备采用高性能 3 轴和 5 轴高速立式加工中心、5 坐标加工中心、大型 5 坐标龙门铣等，以及大量采用伺服运动控制技术，如火炮的自动瞄准控制、雷达的跟踪控制和导弹的自动跟踪控制等。

### 5. 其他行业

在建材行业，有用于石材加工的数控水刀切割机，有用于玻璃加工的数控玻璃雕花机等。

在轻工行业，有采用多轴伺服控制（最多可达 50 个运动轴）的印刷机械、纺织机械、包装机械及木工机械等；有用于席梦思加工的数控行缝机和用于服装加工的数控绣花机等。

## 5.1.3 数控系统的分类

### 1. 按加工工艺和用途

#### 1) 车削、铣削类数控系统

该类是针对数控车床控制的数控系统和加工中心控制数控系统。两者的区别在于车削系统要求能够随时反映刀尖点相对于车床轴线的距离，以表示当前加工工件的半径或直径；车削系统有各种车削螺纹的固定循环；车削系统支持主轴与 C 轴的切换，支持端面直角坐标系或回转体圆柱面坐标系编程等；数控系统要变换为极坐标进行控制。而铣削数控系统更多地要求复杂曲线、曲面的编程加工能力，包括五轴和斜面的加工等。

随着车铣复合化工艺的日益普及，要求数控系统兼具车削、铣削功能。



### 2) 磨削数控系统

该类是指磨床控制的专用数控系统。与其他数控系统的区别主要在于要支持工件在线量仪的接入,量仪主要监测尺寸是否到位,并通知数控系统退出磨削循环;还要支持砂轮修正,并将修正后的砂轮数据作为刀具数据计入数控系统中。此外,磨削数控系统的 PLC 还要具有较强的温度监测和控制回路,要求具有与振动监测、超声砂轮切入监测仪器协同工作的能力。对于非圆磨削,数控系统及伺服驱动在进给轴上需要更高的动态性能。对有些非圆加工(如凸轮)由于被加工表面高精度和高光洁度要求,数控系统对曲线平滑技术方面也要有特殊处理。

### 3) 面向特种加工的数控系统

为适应特种加工往往需要有特殊的运动控制处理和加工的控制系统。例如,并联机床控制需要在常规数控运动控制算法中加入相应并连接构解耦算法;线切割加工中需要支持沿路径回退;冲裁切割类机床控制需要 C 轴保持冲裁头处于运动轨迹切线姿态;齿轮加工则要求数控系统能够实现符合齿轮范成规律的电子齿轮速比关系或表达式关系;激光加工则要保证激光头与板材距离恒定;电加工则要数控系统控制放电电源等。

## 2. 按运动方式或轨迹

### 1) 点位控制数控系统

点位控制是指控制工具相对于工件从某一个位置(加工点)移到另一个位置(加工点)的精确坐标位置,而对于点与点之间移动的轨迹不进行控制,且移动过程中不进行任何加工。如数控钻床、数控焊机、数控冲床和数控坐标镗床等设备。

### 2) 直线控制数控系统

直线控制不仅要控制点与点的精确位置,还要控制两点之间的工具移动轨迹是一条直线,且在移动中工具能以给定的进给速度进行加工,其辅助功能要求也比点位控制数控系统多,如可能被要求具有主轴转数控制、进给速度控制和刀具自动交换等功能。如简易数控车床、数控镗铣床等设备。

### 3) 轮廓控制数控系统

轮廓控制是指能够对两个或两个以上坐标方向进行严格控制,即不仅控制每个坐标的行程位置,同时还控制每个坐标的运动速度。各坐标的运动按规定的比例关系相互配合,精确地协调起来连续进行加工,以形成所需要的直线、斜线或曲线、曲面等。如数控车床、铣床、加工中心、电加工机床和特种加工机床等。

## 3. 按伺服驱动的控制方式

### 1) 开环控制数控系统

开环控制数控系统是指无反馈、不带检测装置的数控系统。如 CNC 装置输出的进给指令经驱动电路进行功率放大,转换为控制步进电动机各定子绕组以此通电/断电的电流脉冲信号,驱动步进电动机转动,再经机床传动机构(齿轮箱、丝杠等)带动工作台移动。这种方式控制简单,价格比较低廉,主要应用于经济型的数控设备。

### 2) 半闭环控制数控系统

其位置检测装置被安装在电动机轴端或丝杠轴端,通过角位移的测量间接计算出机床工作台的实际运行位置(直线位移)。由于闭环的环路内不包括丝杠、螺母副及机床工作台

这些大惯性环节,而由这些环节造成的误差不能由环路矫正,其控制精度较全闭环控制数控系统要差,但其调试方便,可以获得比较稳定的控制特性,因此在实际应用中被广泛采用。

### 3) 全闭环控制数控系统

其位置检测装置安装在机床工作台上,用以检测工作台的实际运行位置(直线位移),并将与 CNC 装置计算出的指令位置(或位移)相比较,得到相差值再进行调节控制。因此,位置控制精度很高,但由于它将丝杠、螺母副及机床工作台这些连接环节放在闭环内,因而导致整个系统连接刚度变差;在调试时,其系统难达到高增益,即容易产生振荡。

## 4. 按性能水平

### 1) 经济型数控系统(简易数控系统)

该类系统通常采用步进电动机或脉冲串接口的伺服驱动。其不具备位置反馈或位置反馈不参与位置控制,仅能满足一般精度要求的加工,能加工形状较简单的直线、斜线、圆弧及带螺纹类的零部件,采用的微机系统为单板机或单片机系统。

装备的机床定位精度在 0.02mm 以上。

### 2) 普及型数控系统

介于经济型数控系统和高档型数控系统之间的数控系统,其特点是联动轴数为 4 轴以下(含 4 轴)。它是具有伺服电动机反馈信息参与控制的闭环控制,并有螺距误差补偿和刀具管理等功能,支持用户开发 PLC 功能。

### 3) 高档型数控系统

一般是指拥有多通道(两个及以上)数控设备控制能力,具有双驱控制、5 轴及以上的插补联动功能、斜面加工、样条插补、双向螺距误差补偿、直线度和垂直度误差补偿、刀具管理及刀具长度和半径补偿功能、高静态精度(分辨率为 0.001 $\mu$ m,即最小分辨率为 1nm)和高动态精度(随动误差在 0.01mm 以内)、高速度及完备的 PLC 控制功能的数控系统。

## 5.1.4 数控系统(技术)的特点

数控技术是实现制造过程自动化的基础,是自动化柔性系统的核心,是现代集成制造系统的重要组成部分。数控技术把机械装备的功能、效率、可靠性和产品质量提高到一个新水平,使传统的制造业发生了极其深刻的变化。

数控加工技术不同于传统的加工技术,其主要特点如下。

(1) 可加工常规方法难以加工的复杂形状,甚至能加工一些无法观测的加工部位,能高质量地完成一般机床难以完成的复杂零件和曲面形状的加工。

(2) 大量减少工装数量,加工形状复杂的零件不需要复杂的工装。如要改变零件的形状和尺寸,只需要修改零件加工程序,即可方便地改变加工工艺参数(如切削用量),因而有利于换批加工和新产品的研制和改型。

(3) 多品种、小批量生产情况下生产效率较高,能减少生产准备、机床调整和工序检验的时间,而且由于使用最佳切削量,因而减少了切削时间。

(4) 加工质量稳定,加工精度高,重复精度高;可实现一次装夹工件完成多道工序加工,从而在确保高质量的加工精度同时又减少了辅助时间。

(5) 采用模块化标准工具,既减少了换刀和安装时间,又提高了工具标准化程度和工具的管理水平。

(6) 便于实现计算机辅助制造。

(7) 缺点是机床设备费用昂贵,要求维修人员具有较高水平。

### 5.1.5 数控系统的组成

由于数控系统的主要控制对象是坐标轴的位移(包括移动速度、方向、位置等),其控制信息主要来源于数控加工或运动控制程序。因此,作为数控系统的最基本组成应包括数控装置、伺服驱动装置和位置测量装置三大部分,如图 5-3 所示。

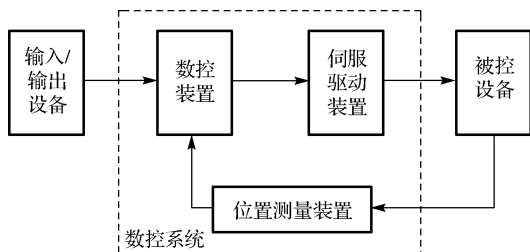


图 5-3 数控系统的基本组成

#### 1. 数控装置

数控装置的作用是将输入装置输入的数据,通过内部的逻辑电路或控制软件进行编译、运算和处理,并输出各种信息和指令,以控制设备或机床的各部分进行规定的动作。在这些控制信息和指令中,最基本的是坐标轴的进给速度、进给方向和进给位移量指令。它经插补运算后生成,提供给伺服驱动,经驱动器放大,最终控制坐标轴的位移。它直接决定了刀具或坐标轴的移动轨迹。此外,根据系统和设备的不同,可增加其他功能。如数控机床上,还可能有主轴的转速、转向和启停指令;刀具的选择和交换指令;冷却、润滑装置的启停指令;工件的松开、夹紧指令;工作台的分度等辅助指令。这些指令都是通过接口,以信号的形式提供给外部辅助控制装置的,由辅助控制装置对以上信号进行必要的编译和逻辑运算,放大后驱动相应的执行器件,带动机床机械部件、液压和气动等辅助装置完成指令规定的动作。

数控装置是数控系统的核心,是由计算机硬件和软件构成的专用计算机,即 CNC 装置。因此,其硬件具有通用计算机的各部分组成,即包括控制器、运算器、存储器、输入/输出接口等部分。系统软件分为管理软件和控制软件两种。管理软件用来管理零件程序的输入、输出、刀具位置、系统参数、零件程序显示、机床状态及报警、故障诊断等。控制软件由译码、插补运算、刀具补偿、速度控制、位置控制等软件组成。系统程序存于计算机存储器内。所有的数控功能基本上都依靠该程序来实现。

硬件是软件活动的物理基础;而软件则是整个系统的灵魂,整个 CNC 装置的工作均依靠系统软件来指挥。

#### 2. 伺服驱动装置

伺服驱动装置是将数控装置输出的指令信号放大,再驱动机械(相关设备)按要求运动。

伺服驱动通常由伺服放大器（也称驱动器、伺服单元）和执行机构（设备）等部分组成。伺服放大器的形式取决于执行设备或器件，它必须配套使用。执行设备主要有电动式、液压式和气动式三种类型。电动式是指交、直流电动机或控制电动机（如交、直流伺服电动机，步进电动机，直线电动机等）；液压式是指液压缸或液压电动机等；气动式是指气压缸等。

### 3. 位置测量装置

位置测量装置主要检测机械的直线运动和回转运动的方向、位置、速度等，并反馈到数控装置和伺服驱动系统，以修正控制指令。

位置测量装置主要是各种常用的传感器（如位移传感器、速度传感器、位置传感器、温度传感器、压力传感器等）。

以上是数控系统最基本的组成部分，这3部分有机地结合，组成完整的闭环控制的数控系统。

随着数控技术的发展和机床性能水平的提高，对系统的功能要求也日益增强，为了满足不同机床的控制要求，保证数控系统的完整性和统一性，并方便用户使用，常用的较为先进的数控系统一般都带有内部可编程控制器（PLC）作为机床的辅助控制装置。总之，数控系统的组成取决于控制系统的性能和设备的具体控制要求，其配置和组成有很大的区别，除数控装置、伺服驱动装置、位置测量装置这3个最基本的组成部分外，还可能有更多的辅助控制装置。而辅助控制装置是介于数控装置和机床机械、液压部分之间的控制装置，通过可编程控制器来实现，从而使数控系统的功能更强、性能更完善。

## 5.1.6 数控系统（技术）的发展趋势

数控技术是用数字信息对机械运动和工作过程进行控制的技术；是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础；是提高产品质量、提高劳动生产率必不可少的物质手段；是国防现代化的重要战略物资；是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业。

制造业是国民经济的命脉，机械制造业又是制造业中的支柱与核心。数控技术的应用不但给传统制造业带来了革命性的变化，使制造业成为工业化的象征，而且随着数控技术的不断发展和应用领域的扩大，对国计民生的一些支柱行业（IT、汽车、轻工、医疗等）的发展起着越来越重要的作用，因为这些行业所需装备的数字化已是现代发展的大趋势。从世界上数控技术及其设备发展的趋势来看，其主要有以下几个方面。

### 1. 高速、高精加工技术的新趋势

效率、质量是先进制造技术的主体。高速、高精加工技术可极大地提高效率，提高产品的质量和档次，缩短生产周期，提高市场竞争能力。

随着数控系统核心处理器性能的进步，目前高速加工中心进给速度最高可达 80m/min，空运行速度可达 100m/min 左右。生产同样的零件，一般高速铣床加工只需 3h，而普通铣床加工则需 8h，因此高速化要求日益普及。

随着伺服控制技术和传感器技术的进步，在数控系统的控制下，机床可以执行亚微米





级的精确运动。在加工精度方面,普通级数控机床的加工精度已由  $10\mu\text{m}$  提高到  $5\mu\text{m}$ ,精密级加工中心则从  $3\sim 5\mu\text{m}$ ,提高到  $1\sim 1.5\mu\text{m}$ ,并且超精密加工精度已开始进入纳米级( $0.01\mu\text{m}$ )。

## 2. 数控系统向智能化、网络化、开放式方向发展

智能化是 21 世纪制造技术发展的一个大方向,因此 21 世纪的数控设备的控制性能将是具有一定智能化的系统,智能化的内容如下。

(1) 追求加工效率和加工质量方面的智能化,如加工过程的自适应控制,工艺参数自动生成。

(2) 提高驱动性能及使用连接方便的智能化,如前馈控制、电动机参数的自适应运算、自动识别负载自动选定模型、自整定等。

(3) 简化编程、简化操作方面的智能化,如智能化的自动编程、智能化的人机界面等。

(4) 智能诊断、智能监控方面,方便系统的诊断及维修等。

数控系统的网络化,主要指数控系统与其他控制系统或上位计算机进行网络连接和网络控制。数控系统一般首先面向生产现场和企业内部的局域网,然后再经由因特网通向企业外部,因此,数控系统的开放已经成为数控系统的未来之路。所谓开放式数控系统就是数控系统的开发可以在统一的运行平台上,面向机床厂家和最终用户,通过改变、增加或剪裁结构对象(数控功能),形成系列化,并可方便地将用户的特殊应用和技术集成到控制系统中,快速实现不同品种、不同档次的开放式数控系统。开放式体系结构使数控系统有更好的通用性、柔性、适应性、可扩展性,并可以较容易地实现智能化、网络化。

## 3. 数控系统向高可靠性、复合化方向发展

随着数控机床网络化应用的日趋广泛,数控系统的高可靠性已经成为人们追求的目标。

为了尽可能降低时间成本,人们希望将不同的加工功能整合在同一台机床上,因此复合功能的机床成为近年来发展很快的机种。柔性制造范畴的机床复合加工概念是指将工件一次装夹后,机床便能按照数控加工程序,自动进行同一类工艺方法或不同类工艺方法的多工序加工,以完成一个复杂形状零件的主要乃至全部车、铣、钻、镗、磨、攻丝、铰孔和扩孔等多种加工工序。

## 4. 重视新技术标准、规范的建立

### 1) 关于数控系统设计开发的规范

如前所述,开放式体系结构数控系统具有更好的通用性、柔性、适应性、扩展性。为此,世界各大经济体在短期内进行了几乎相同的科学计划和规范的制定,预示了数控技术一个新的变革时期的来临。我国在 2000 年也开始进行中国的 CNC 数控系统的规范框架的研究和制定。

### 2) 关于数控标准

数控标准是制造业信息化发展的一种趋势。目前,国际上正在研究和制定一种新的 CNC 系统标准 ISO14649 (STEP-NC),其目的是提供一种不依赖于具体系统的中性机制,能够描述产品整个生命周期内的统一数据模型,从而实现整个制造过程,乃至各个工业领域产品信息的标准化。

## 5.2 液压控制技术

任何一个数控系统（机电控制系统）都必须具有驱动目标（被控设备）发生动作或运动的执行机构（伺服驱动装置），如数控机床的主轴旋转运动、工作台的进给运动和工业机械人的手臂上下或伸缩等运动都离不开驱动器，即执行机构、驱动装置。执行机构（伺服驱动装置）是按控制器（数控装置）所输出的信息或指令准确、迅速、可靠地对目标（被控设备、被控对象）进行控制、调整。

执行机构按工作能源的形式可分为电动式、液压式和气动式 3 种类型。电动式是指交、直流电动机或控制电动机（如交、直流伺服电动机，步进电动机，直线电动机等）；液压式是指液压缸或液压电动机等；气动式是指气压缸等。

### 5.2.1 液压控制技术及其特点

液压控制技术是以液体（主要是矿物油）为工作介质，实现能量传递、转换、分配及控制的一门技术。

液压控制技术是一种应用极为广泛的基础技术，在日常的工作和生活中，随处可以见到液压技术（液压传动）的使用，如一般工业用的压力机械、机床等；行走机械中的工程机械、建筑机械、农业机械、汽车等；钢铁工业用的冶金机械、提升装置、轧辊调整装置等；土木水利工程用的防洪闸门及堤坝装置、河床升降装置、桥梁操纵机构等；发电厂涡轮机调速装置等；特殊技术用的控制装置、测量浮标、升降旋转舞台等；军事工业用的火炮操纵装置、飞行器仿真、飞机起落架的收放装置和方向舵控制装置等。在船舶上，更是大量使用了液压传动，如船甲板起重机械、船头门、舱壁阀、船尾推进器、船舶减摇装置、舵机、锚缆机操作系统、舱盖控制系统等。

#### 【例 5-1】液压千斤顶及其应用

如图 5-4 所示为液压千斤顶的应用。

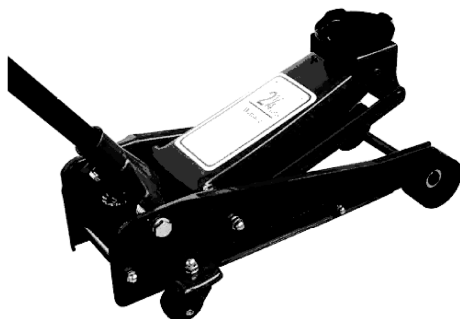
如图 5-5 所示为小型液压千斤顶。



图 5-4 液压千斤顶的应用



(a) 立式



(b) 卧式

图 5-5 小型液压千斤顶

工作过程：如图 5-6 所示，当压下杠杆时，杠杆在小油缸内带动小活塞向下（见图 5-6 中实线箭头）而压缩油液，一方面使小油缸的下侧单向阀关闭，另一方面使油液只能沿着



油管和大油缸下侧单向阀流向大油缸（见图 5-6 中实线箭头），进而迫使大油缸内的大活塞往上移动（见图 5-6 中实线箭头）顶起重物。反过来，当杠杆往上走时也带动小活塞向上，油箱里的油液通过油管和单向阀（小油缸下侧）被吸进小活塞的下部，同时大油缸内的油液压力使单向阀（大油缸下侧）关闭，确保重物不会下落。杠杆不断地往复运动，就能不断地把油液压入大油缸下腔，大活塞也就不断地使重物升起。

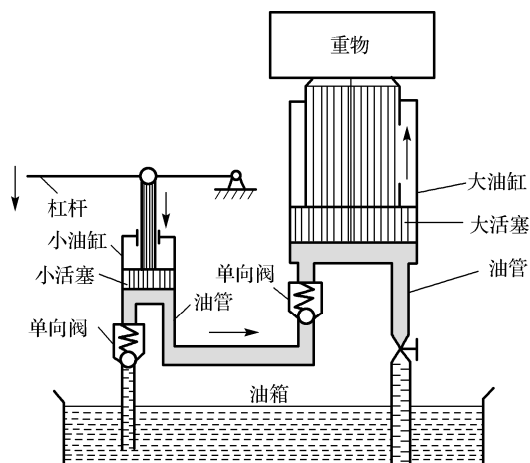


图 5-6 液压千斤顶的工作原理

由此可见，液压千斤顶是利用有压力的油液作为传递动力的工作介质。当压下杠杆时，小油缸输出压力油，将机械能转换成油液的压力能；压力油经过管道及单向阀，推动大活塞举起重物，将油液的压力能又转换成机械能。大活塞举升的速度取决于单位时间内流入大油缸中油容积的多少。液压技术是一个不同能量的转换、传递过程，所以又称为液压传动。

液压技术的特点如下。

### 1. 液压传动的优点

（1）功率重量比大，即能以较轻的设备重量产生较大的输出力或力矩；且运动惯性力较小，当突然过载或停车时，不会发生大冲击。

（2）能在给定范围内平稳地自动调节牵引速度，并可实现无级调速；调速范围宽，低速稳定性好。

（3）换向容易，在不改变电动机旋转方向的情况下，可以较方便地实现工作机构旋转和直线往复运动的转换；特别是很容易实现直线运动。

（4）液压泵和液压电动机之间用油管连接，在空间布置上彼此不受严格限制。

（5）由于采用油液为工作介质，所以元件相对运动表面间能自行润滑，磨损小，使用寿命长；另外，工作介质有一定的弹性和吸振能力，使液压传动运转平稳，且易于散热。

（6）操纵控制简便，自动化程度高；元件易于实现标准化、系列化、通用化，便于设计、制造和选用。

（7）易于实现过载保护，工作安全。

### 2. 液压传动的缺点

（1）使用液压传动对维护的要求高，工作油要始终保持清洁。

- (2) 对液压元件制造精度要求高，工艺复杂，成本较高。
- (3) 液压元件维修较复杂，且需有较高的技术水平。
- (4) 采用油液做工作介质，在工作面存在火灾隐患；另外，油液的泄漏和排放易污染环境，废油处理困难。
- (5) 传动效率较低；传动过程存在机械摩擦损失、压力损失及泄漏损失等。
- (6) 油液的黏度受温度影响较大。油液特性变化引起系统性能改变；且有工作温度范围限制；一般工作温度在 $-15\sim 60^{\circ}\text{C}$ 范围内较合适。

## 5.2.2 液压（传动）系统的组成及工作原理

液压系统一般由动力元件、控制元件、执行元件、辅助元部件、工作介质 5 个主要部分组成，如图 5-7 所示。

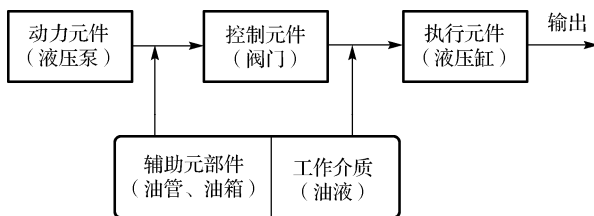


图 5-7 液压系统的组成

### 1. 动力元件

动力元件最常见的形式是液压泵。其作用是供给液压系统压力油，将机械能转换成液压能的装置。

### 2. 控制元件

控制元件是对系统中油液的压力、流量或流动方向进行控制或调节的装置，如溢流阀、节流阀、换向阀、开停阀等各种控制阀。

### 3. 执行元件

执行元件最常见的形式是液压缸（可做直线运动）或液压电动机（可做旋转运动）。其作用是把液压能转换成机械能，从而带动工作部件运动或工作的装置。

### 4. 辅助元部件

辅助元部件是保证系统正常工作必要的装置，起到对油液进行过滤、连接、存储或者完成其他辅助的功能，如油箱、滤油器、油管等。

### 5. 工作介质

工作介质是指传递能量的工作油液，如液压油等。

液压传动的基本工作原理：在密闭的容器内，通过液压泵将原动机（或电动机）的机械能转变为或产生液压能（即压力的油液），再通过控制阀门及执行元件将液压能转变为直线运动或旋转运动的机械能，以驱动工作机构完成所需要的各种任务。也就是利用密封工作腔的变化进行工作，通过液体介质的压力进行能量的转换和传递。

### 【例 5-2】工作台的往返运动

如图 5-8 所示为一种驱动工作台的液压（传动）系统。

工作原理：液压泵由电动机驱动从油箱中吸油（见图 5-8 中箭头）。油液经滤油器进入液压泵；油液经过液压泵后，从泵入口低压到泵出口高压输出；通过开闭阀、节流阀、换向阀进入液压缸左腔，推动活塞向右，从而迫使工作台向右移动。活塞向右运动到最右侧时，液压缸腔内的油液经换向阀和回油管排回油箱。

若改变换向阀的状态，如图 5-9 所示，则管道中的油液将经过开闭阀、节流阀和换向阀进入液压缸右腔、推动活塞向左带动工作台向左移动。同理，活塞向左运动到最左侧时，液压缸腔内的油液经换向阀和回油管排回油箱。

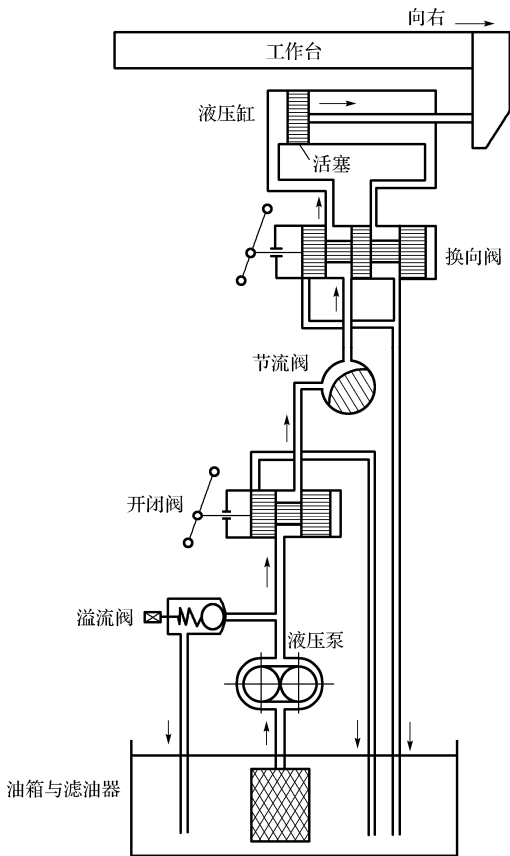


图 5-8 驱动工作台的液压（传动）系统

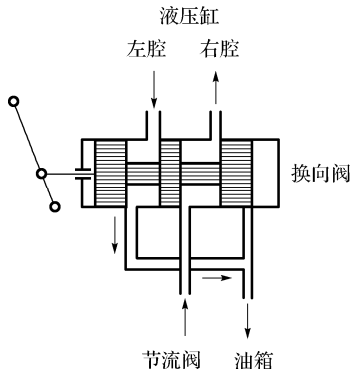


图 5-9 工作台向左移动时油液的流动方向

工作台的移动速度是通过节流阀来调节的。当节流阀开大时，进入液压缸的油量增多，工作台的移动速度增大；相反，当将节流阀关小时，进入液压缸的油量减小，工作台的移动速度减小。

为了克服移动工作台时所受到的各种阻力（包括负载阻力），液压缸必须产生一个足够大的推力，这个推力是由液压缸中的油液压力产生的。要克服的阻力越大，缸中的油液压力越高；反之压力就越低。

可见，工作台的移动方向是由通过换向阀来控制油液流动方向决定的；工作台的移动速度是通过节流阀来调节油液的油量来实现的；油液压力取决于负载。

### 5.2.3 液压元件

#### 1. 液压动力元件

液压动力元件起着向系统提供动力源的作用，是系统不可缺少的核心元件，其性能的好坏直接影响整个液压系统工作的稳定性和可靠性。

液压泵是为系统提供一定的流量和压力的动力元件，液压泵将原动机（电动机或内燃机）输出的机械能转换为工作液体的压力能，是一种能量转换装置。

如图 5-10 所示为部分液压泵的外形。



图 5-10 部分液压泵的外形

#### 1) 液压泵工作原理

液压泵都是依靠密封容积变化的原理来进行工作的，因此，又称为容积式液压泵。

如图 5-11 所示为单柱塞液压泵结构示意图。从图中可见，柱塞装在缸体中形成一个密封容积，且柱塞在弹簧的作用下始终压紧在偏心轮上。

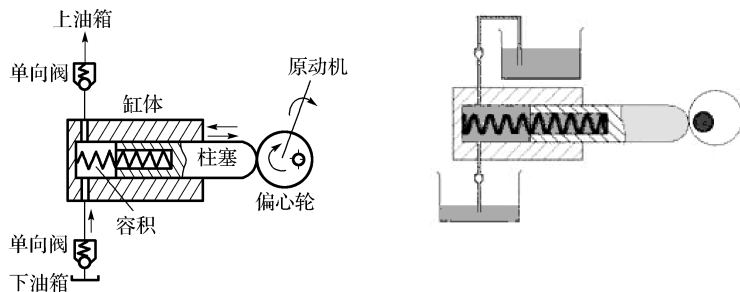


图 5-11 单柱塞液压泵结构示意图

当原动机驱动偏心轮旋转时，偏心轮迫使柱塞做前、后往复运动，从而使密封容积的大小发生周期性交替变化。若柱塞往后（向右）运动，缸体中的密封容积就会增大；反之，就会减小。当容积增大时，形成部分真空，使下油箱中的油液在大气压作用下经吸油管顶开下单向阀进入容积而实现吸油。当柱塞往前（向左）运动时，容积中吸满的油液受力将顶开上单向阀而进入上油箱实现压油。原动机驱动偏心轮不断旋转，液压泵就不断地进行吸油和压油过程，从而将原动机输入的机械能转换成液体的压力能。

## 2) 液压泵的特点

(1) 具有若干个密封且又可以周期性变化空间。

液压泵输出流量与此空间的容积变化量和单位时间内的变化次数成正比，与其他因素无关。这是容积式液压泵的一个重要特性。

(2) 油箱内液体的绝对压力必须恒等于或大于大气压力。

这是容积式液压泵能够吸入油液的外部条件。因此，为保证液压泵正常吸油，油箱必须与大气相通，或采用密闭的充压油箱。

(3) 具有相应的配流机构（见图 5-11 中的单向阀），将吸油腔和压液腔隔开，保证液压泵有规律地、连续地吸、排液体。

吸油腔的压力取决于吸油高度和吸油管路的阻力。吸油高度过高或吸油管路阻力太大，会使吸油腔真空度过高而影响液压泵的自吸能力。压油腔的压力则取决于外负载和排油管路的压力损失，液压泵的实际输出流量随排油压力的升高而降低。

## 3) 液压泵的分类

液压泵按其在单位时间内所能输出的油液的体积是否可调节而分为定量泵和变量泵等；按结构形式可分为齿轮泵、叶片泵、柱塞泵、螺杆泵等。

(1) 齿轮泵。如图 5-12 所示为齿轮泵结构示意图。

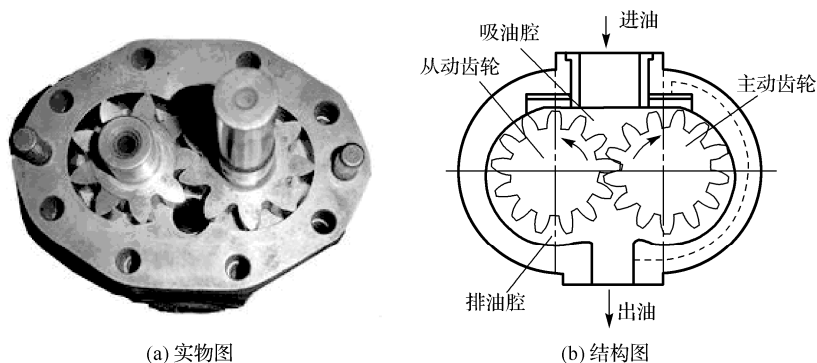


图 5-12 齿轮泵结构示意图

(2) 叶片泵。如图 5-13 所示为叶片泵结构示意图。

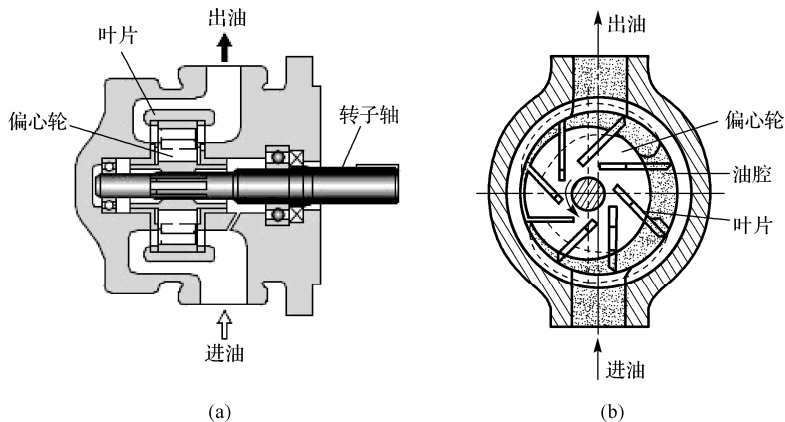


图 5-13 叶片泵结构示意图

(3) 柱塞泵。如图 5-14 所示为柱塞泵结构示意图。

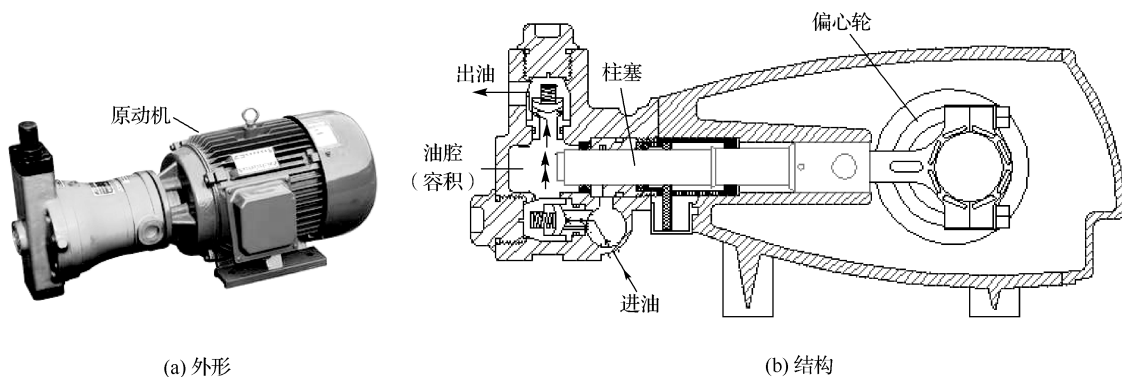


图 5-14 柱塞泵结构示意图

(4) 螺杆泵。如图 5-15 所示为双螺杆泵结构示意图。

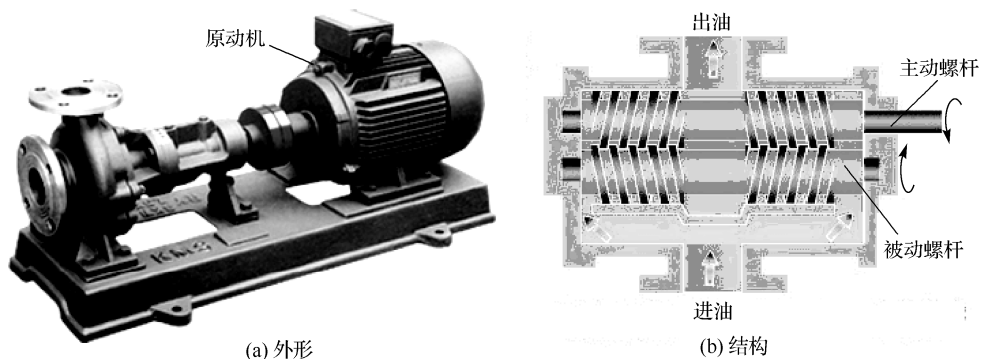


图 5-15 双螺杆泵结构示意图

## 2. 液压控制元件

控制元件（即各种液压阀）在液压系统中控制和调节油液的压力、流量和方向。

根据控制方式不同，液压阀可分为开关式控制阀、定值控制阀和比例控制阀。

根据控制功能的不同，控制元件（液压阀）可分为压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀。

### 1) 压力控制阀

压力控制阀包括溢流阀（安全阀）、减压阀、顺序阀、压力继电器等。

(1) 溢流阀，又称安全阀。当系统压力增大时，会使溢流阀自动开启，使多余流量溢回油箱，保证溢流阀进口压力，即泵出口压力恒定（阀口常随压力波动开启）。

常用的溢流阀按其结构形式和基本动作方式分直动式和先导式两种。

先导式溢流阀如图 5-16 所示。

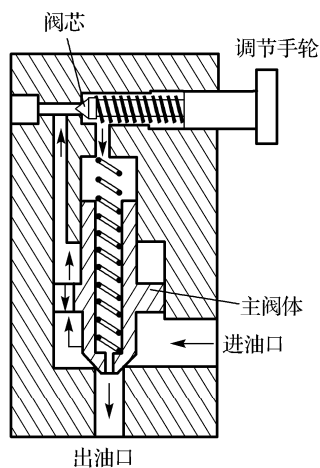
(2) 减压阀。减压阀是通过调节，使进口压力减至某一需要的出口压力，并依靠介质本身的能量，使出口压力自动保持稳定。也可以使一个油源同时提供两个或几个不同压力的输出。

常用的减压阀也有直动式和先导式两种。直动式减压阀如图 5-17 所示。





(a) 外形

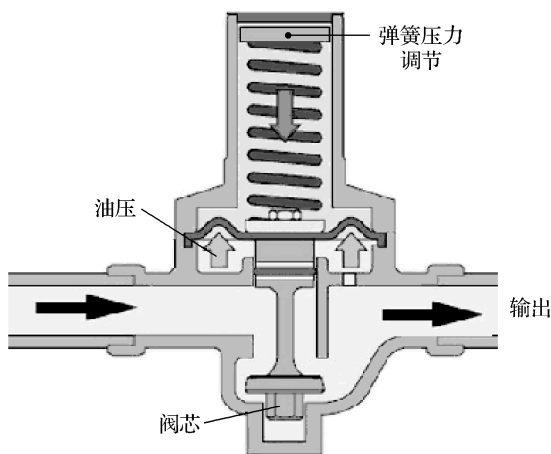


(b) 结构

图 5-16 先导式溢流阀



(a) 外形



(b) 结构

图 5-17 直动式减压阀

(3) 顺序阀。顺序阀在具有两个以上分支回路的系统中，根据回路的压力等来控制执行元件动作顺序，即利用油路的压力来控制多个执行元件动作的先后顺序。

顺序阀根据控制压力的不同，又分为内控式和外控式两种。内控式顺序阀是利用阀的进口压力控制阀芯的启闭；外控式顺序阀是利用外来的控制压力油控制阀芯的启闭（即液控顺序阀）。内控式顺序阀如图 5-18 所示。

(4) 压力继电器。压力继电器是利用液体的压力来启闭电气触点的液压电气转换元件。当系统压力达到压力继电器的调定值时，发出电信号，使电气元件（如电磁铁、电动机、时间继电器、电磁离合器等）动作，从而使油路卸压、换向，使执行元件实现顺序动作，或关闭电动机使系统停止工作，起安全保护作用等。

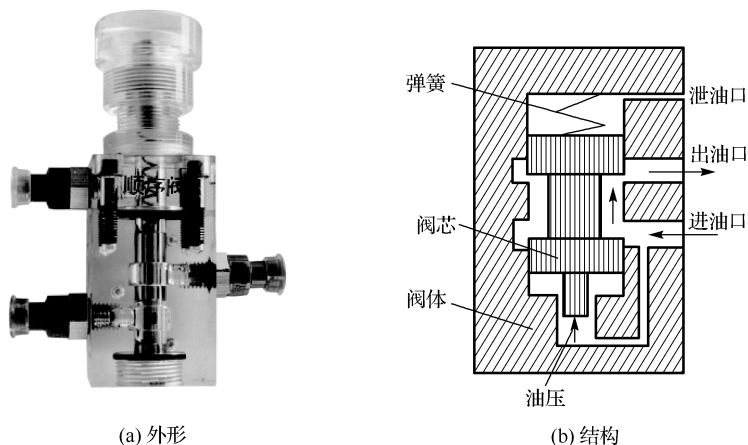


图 5-18 内控式顺序阀

常用的压力继电器有柱塞式、膜片式（薄膜式）、弹簧管式和波纹管式 4 种结构形式。柱塞式压力继电器如图 5-19 所示。

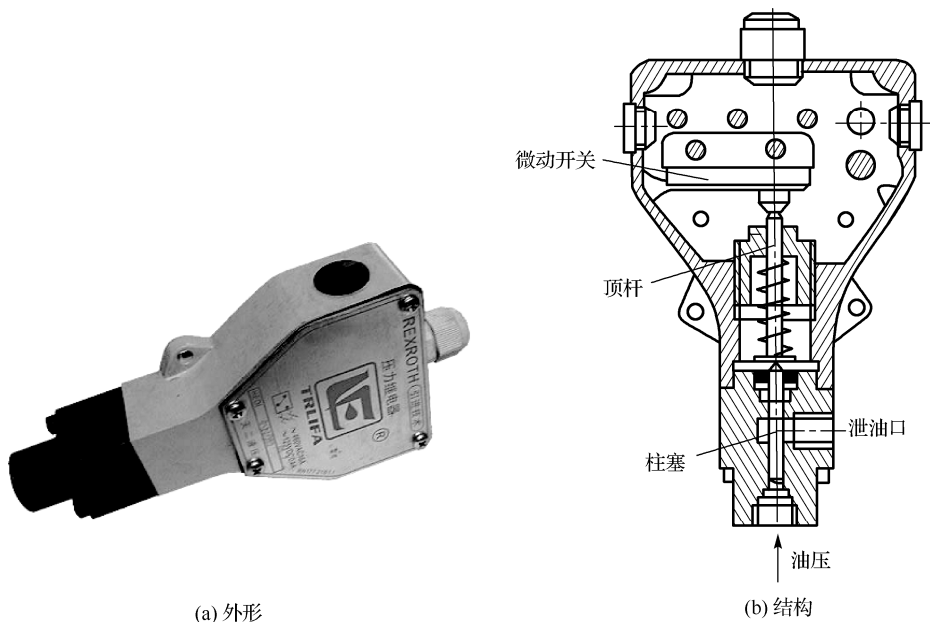


图 5-19 柱塞式压力继电器

## 2) 流量控制阀

流量控制阀包括节流阀、调整阀、分流阀等。

(1) 节流阀。节流阀是通过改变节流截面或节流长度以控制流体流量的阀门，通常通过改变阀的通流面积来调节流量。节流阀如图 5-20 所示。

(2) 调整阀（控制阀）。调整阀是过程控制系统中用动力操作去改变液体流量、压力和液位的装置。其可根据调节部位信号，自动控制阀门的开度，从而达到介质流量、压力和液位的调节。调整阀如图 5-21 所示。

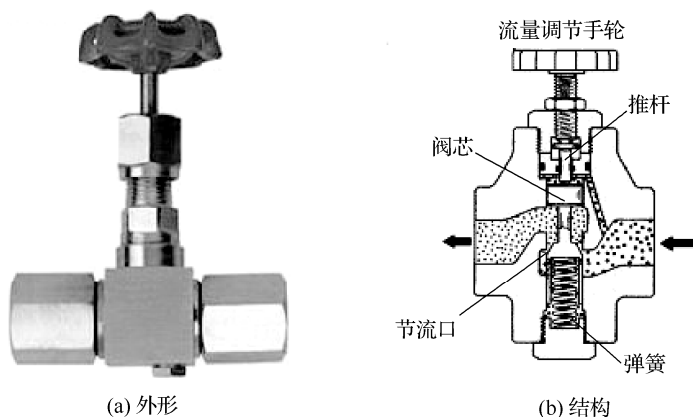


图 5-20 节流阀

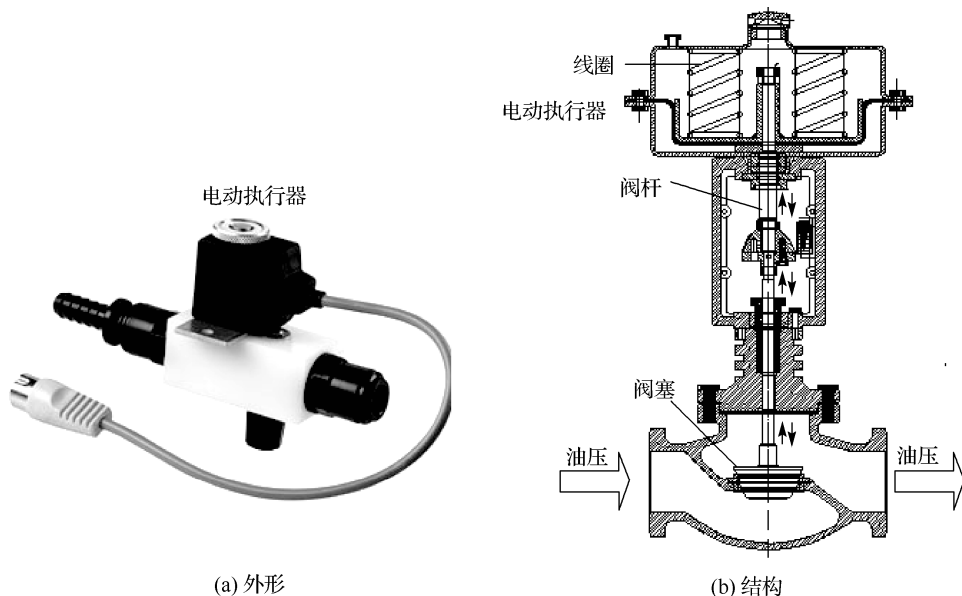


图 5-21 电动调节阀

(3) 分流阀（同步阀）。分流阀使液压系统中由同一个油源向两个以上执行元件供应相同的流量（等量分流），或按一定比例向两个执行元件供应流量（比例分流），以实现两个执行元件的速度保持同步或定比关系。分流阀如图 5-22 所示。

### 3) 方向控制阀

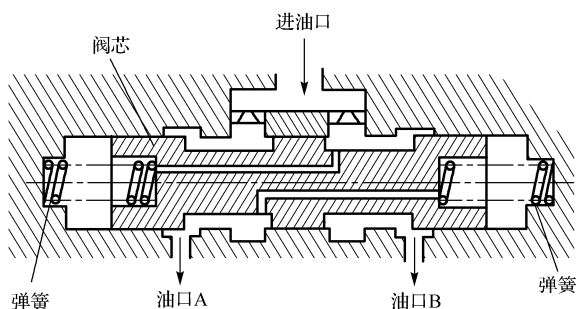
方向控制阀包括单向阀、换向阀等。

方向控制阀在液压系统中用来控制油路的通断或者改变油液流动的方向，实现液压执行机构的动作要求或者完成其他特殊功能的阀门。方向控制阀按用途可分为单向阀和换向阀。

(1) 单向阀。单向阀只允许液体在管道中单向接通流动，反向即切断。单向阀如图 5-23 所示。



(a) 外形

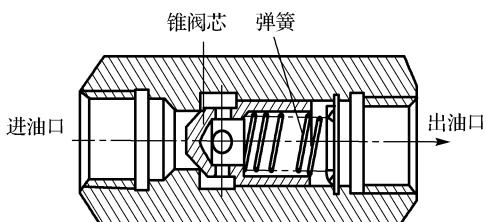


(b) 结构

图 5-22 分流阀



(a) 外形



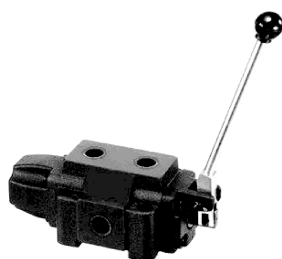
(b) 结构

图 5-23 单向阀

(2) 换向阀。换向阀用于改变不同管路间的通、断关系。根据阀芯在阀体中的工作位置数分为两位、三位等；根据所控制的通道数分为两通、三通、四通、五通等；根据阀芯驱动方式分为手动、机动、电动、电磁、液动等。

如图 5-24 所示为各种换向阀的外形。

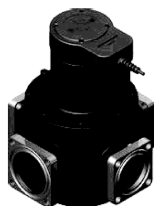
如图 5-25 所示为三位四通电磁换向阀。



(a) 手动



(b) 机动 (行程)



(c) 电动



(d) 液动

图 5-24 各种换向阀外形

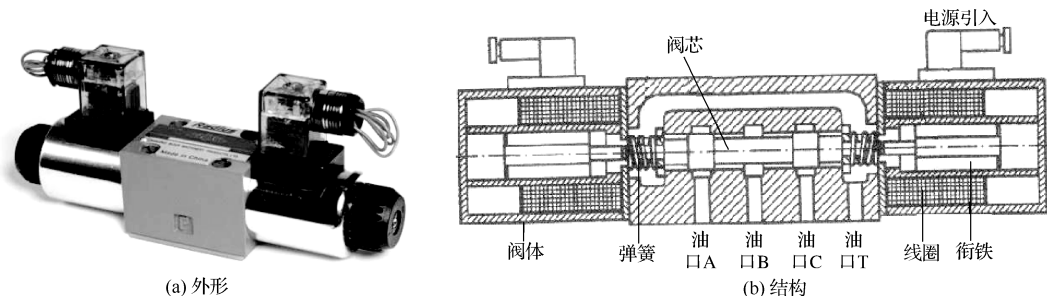


图 5-25 三位四通电磁换向阀

### 3. 液压执行元件

液压执行元件的作用是将液体压力能转换为机械能，驱动负载做直线往复运动或回转（旋转）运动。液压执行元件也是一种能量转换装置，包括液压缸和液压电动机两大类。

#### 1) 液压缸

液压缸可实现直线运动或小于  $360^\circ$  的往复摆动运动。

液压缸的分类：按运动方式可分为直线往复运动式和回转摆动式；按受液压力作用情况可分为单作用式、双作用式；按结构形式可分为活塞式、柱塞式、摆动式、组合式等。

最常用的液压缸为活塞式液压缸。活塞式液压缸可分为单杆式和双杆式两种结构；其固定方式有缸体固定和活塞杆固定两种；按液压力的作用情况又分为单作用式和双作用式。

如图 5-26 所示为单杆活塞式液压缸。

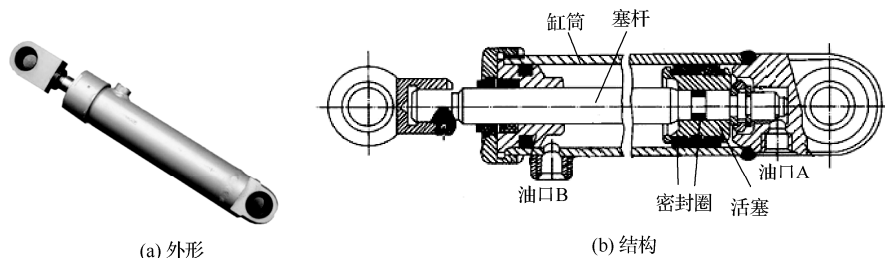


图 5-26 单杆活塞式液压缸

从图 5-26 可见，活塞式液压缸基本上由缸筒和缸盖、活塞和活塞杆、密封装置、缓冲装置与排气装置（视具体应用场合而定）等组成。

活塞式液压缸的工作原理：在单作用式的液压缸中，压力油只供液压缸的一个油腔，靠液体压力使活塞实现单方向运动，反方向运动则靠外力（如弹簧力、自重、外部载荷）来实现；而双作用液压缸的活塞两个方向的运动则通过两个油腔交替进油，靠液压力的作用来完成。

如图 5-27 所示为双作用活塞液压缸的工作原理。

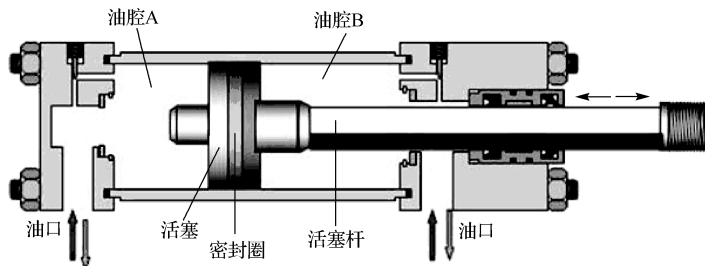


图 5-27 双作用活塞液压缸的工作原理

液压缸输出力和活塞有效面积及其两边的压差成正比。

## 2) 液压电动机

液压电动机又称为油电动机，其外形如图 5-28 所示。

液压电动机主要实现旋转运动。液压电动机的分类：按结构类型可分为齿轮式、叶片式、柱塞式和其他形式等；按液压电动机的额定转速又分为高速（额定转速高于 500r/min）和低速（额定转速低于 500r/min）两大类。

液压电动机的结构与液压泵结构基本相同，即液压电动机与液压泵具有同样的基本结构要素——密闭且又可以周期变化的容积和相应的配油机构。因此，从能量转换的角度和观点来看，液压泵与液压电动机是能可逆工作的液压元件，即向任何一种液压泵输入工作油液，都可使其变成或进入液压电动机工况；反之，当液压电动机的主轴或转子受外力矩驱动旋转时，也随之变为或进入液压泵工况。但是，由于液压电动机与液压泵的工作条件不同，对两者的性能要求也不一样，所以，同类型的液压电动机与液压泵之间，仍存在许多差别。主要区别在于：一是由于液压电动机能够实现正、反转，因而要求其内部结构对称；液压电动机的转速范围需要足够大，特别对最低稳定转速有一定的要求。二是液压电动机由于在输入压力油的条件下工作，因而不具备自吸能力，但需要一定的初始密封性，才能提供必要的启动转矩。由于存在这些差别，使得液压泵和液压电动机在结构上比较相似，但不能可逆工作。

如图 5-29 所示为叶片式液压电动机结构。



图 5-28 液压电动机

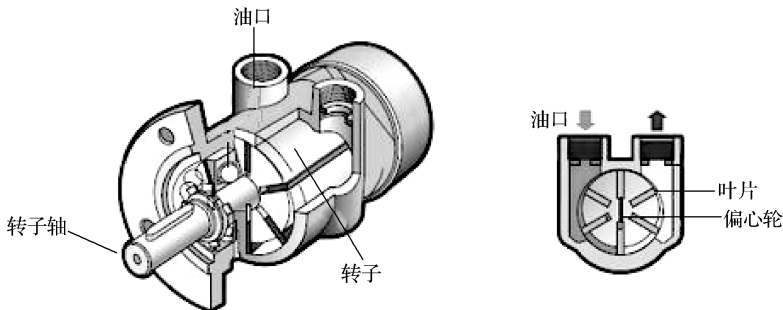


图 5-29 叶片式液压电动机结构

## 4. 液压辅助元部件

液压辅助元部件包括油箱、过滤器、蓄能器、管件、密封装置、压力表及其开关、热交换器等，它们是液压系统不可缺少的部分，其性能对系统的工作稳定性、可靠性、寿命等工作性能的优劣都有直接影响。

### 1) 油箱

油箱的基本功能是盛放或存储工作介质（油液），并散发工作中产生的热量；分离油液中混入的空气、水，沉淀污染物及杂质等。

如图 5-30 所示为油箱的外形。

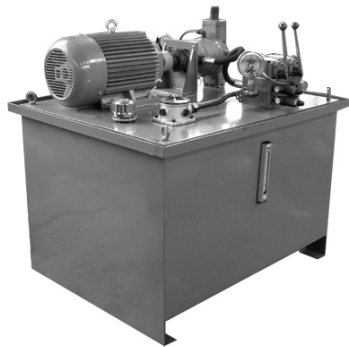


图 5-30 油箱

如图 5-31 所示为各种液压泵与油箱的安装形式。

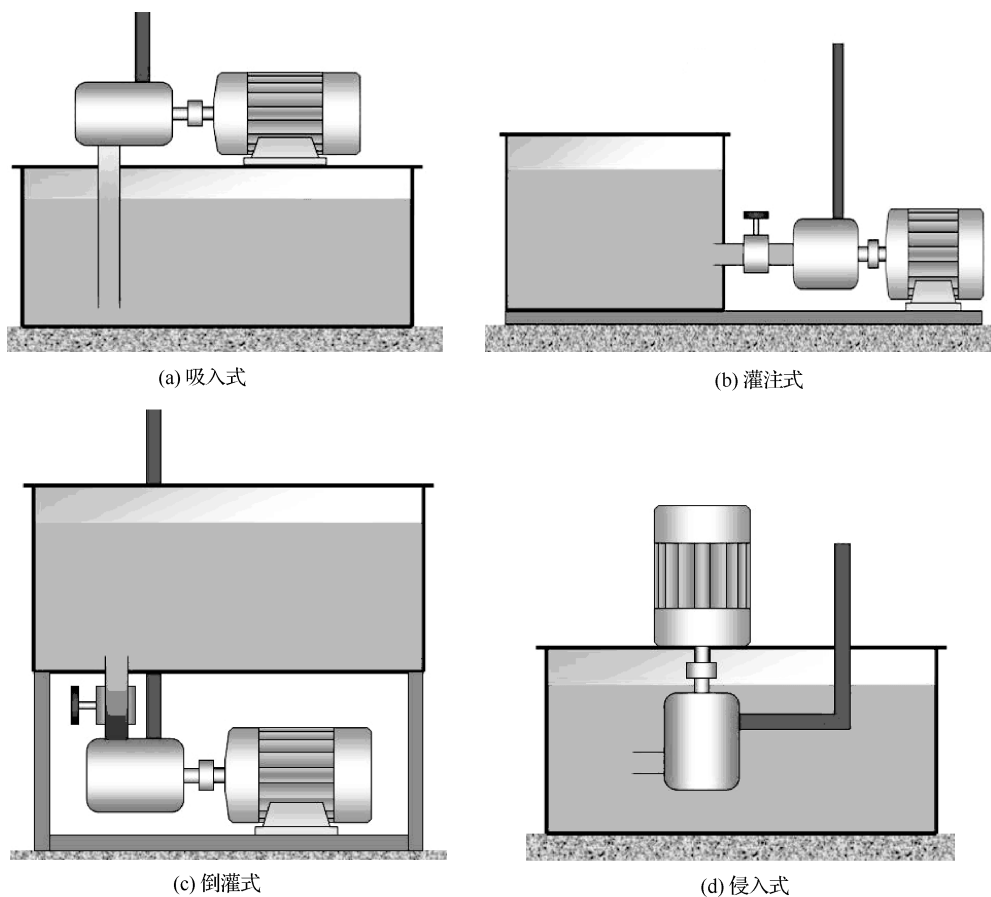


图 5-31 各种液压泵与油箱的安装形式

## 2) 过滤器（滤油器）

由于工作介质（油液）中往往含有颗粒状杂质，这会造成液压元件相对运动表面的磨损、滑阀卡滞、节流孔口堵塞等油污现象，从而使系统工作的可靠性大为降低。据统计资料，液压系统中的所有故障有百分之八十是由污染的油液所引起的。因此，过滤器（滤油器）是保证液压系统正常工作的必要手段及系统最重要的保护元件。过滤器（滤油器）通过过滤油液中的杂质或从油液中清除固体污染物来确保液压元件及系统不受污染物的侵袭。

按滤芯的材料和结构形式，滤油器可分为网式、线隙式，纸质滤芯式、烧结式滤油器及磁性滤油器等。按滤油器安放的位置不同，还可以分为吸滤器、压滤器和回油过滤器等。

如图 5-32 所示为回油过滤器外形。

如图 5-33 所示为过滤器结构与网式滤芯。

## 3) 蓄能器

蓄能器是一种存储、释放压力能的装置，在大型及高精度液压系统占有重要的地位，通常用于吸收脉动、冲击及作为液压系统的辅助油源。其主要体现在：一是作为辅助动力源，在间歇工作或实现周期性动作循环的液压系统中，蓄能器可以把液压泵输出的多余压力油存储起来；当系统需要时，由蓄能器释放出来，这样可以减少液压泵的额定流量，从

而减小电动机功率消耗，降低液压系统温升。二是作为系统保压或作为紧急动力源，对于执行元件长时间不动作却还要保持恒定压力的系统，可用蓄能器来补偿泄漏，从而使压力恒定；对某些系统要求当泵发生故障或停电，而执行元件应继续完成必要的动作时，往往需要有适当容量的蓄能器作为紧急动力源。三是吸收系统脉动，缓和液压冲击。



图 5-32 回油过滤器

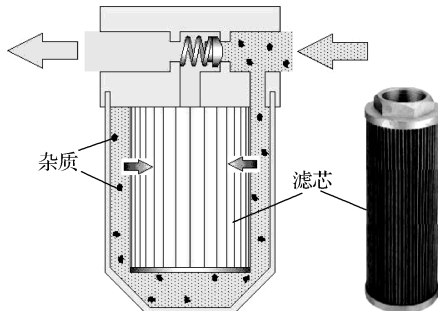


图 5-33 过滤器结构与网式滤芯

蓄能器按结构可分为皮囊式、膜片式、重力式、弹簧式及活塞式等类型。如图 5-34 所示为两种皮囊式蓄能器的外形及结构。

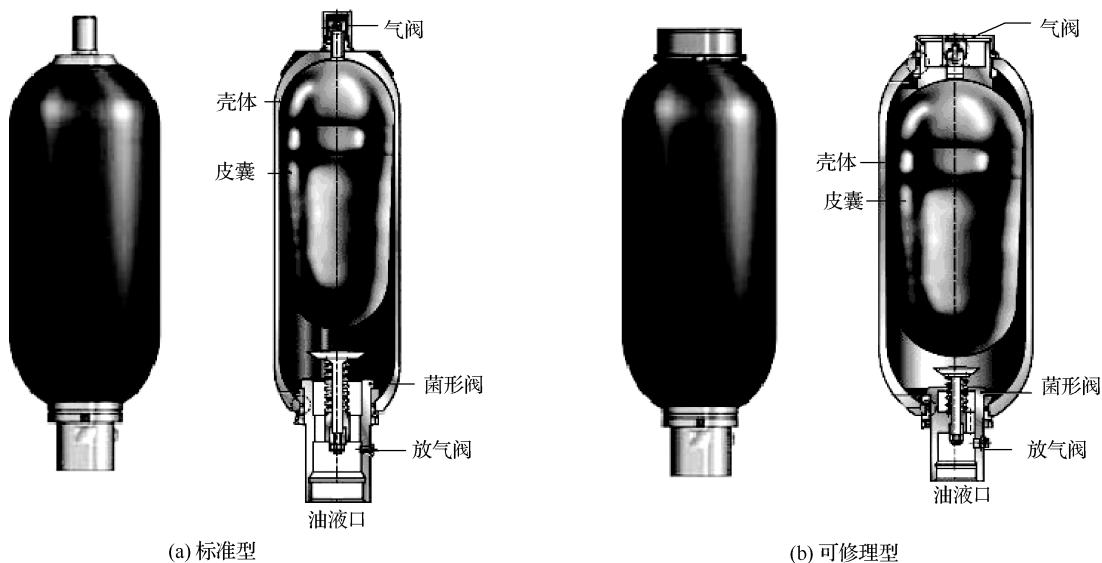


图 5-34 皮囊式蓄能器的外形及结构

## 4) 管件

管件是液压系统各元件间传递工作介质（油液）动力的纽带，确保油路的正常连通，并便于拆卸、安装。管件包括油管道、管接头和法兰等，各种管件如图 5-35 所示。

管件的选用应根据输送油液的压力、流量及使用场合和安装位置等来确定。如应根据工作压力、安装位置确定管件的连接结构，与泵、阀等连接的管件应由其接口尺寸决定管径。

## 5) 热交换器

热交换器的功能是使液压工作介质处在设定的温度范围内，从而提高传动质量。一般希望液压系统的工作温度保持在  $30\sim 50^{\circ}\text{C}$  的范围之内，最高不得超过  $65^{\circ}\text{C}$ ，最低不得低于





15℃。若液压系统靠自然冷却仍不能使油温控制在上述范围内，则必须安装冷却装置；反之，如环境温度太低，无法使液压泵启动或正常运转，则必须安装加热装置。因此，热交换器包括加热器和冷却器。



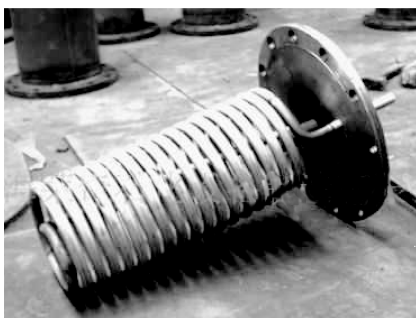
图 5-35 各种（不锈钢）管件

如图 5-36 所示为（电发热管）加热器。

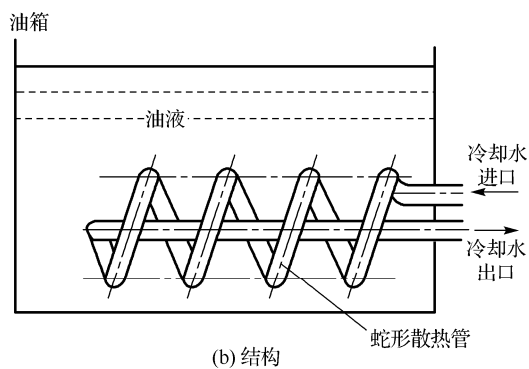


图 5-36 电发热管加热器

如图 5-37 所示为（蛇形管）冷却器。



(a) 外形



(b) 结构

图 5-37 （蛇形管）冷却器

## 6) 测量仪表仪器

测量仪表仪器包括压力表与油位、流量计等。

如图 5-38 所示为各种测量仪表仪器。



图 5-38 各种测量仪表仪器

## 5. 工作介质

工作介质是指液压系统中的液压油或乳化液，包括各类矿物油、合成形液压油和乳化液等。其作用是传动（将由液压泵产生的压力能传给执行部件）、润滑（润滑泵、阀、执行部件等运动部件）、密封（保持液压泵所产生的压力）、冷却（吸收并带出液压装置所产生的热量）、防锈（防止液压元件中所用的各种金属的锈蚀）、传送信号（传送信号元件或者控制元件发出的信号）、吸收冲击（吸收液压回路中产生的压力冲击）等。

如图 5-39 所示为工作介质。



图 5-39 工作介质

## 训练项目 8：齿轮泵的拆卸与装配

### 1. 训练目的

液压动力元件——液压泵是液压系统的重要组成部分，通过对齿轮泵（液压泵）的拆装，掌握其结构特点，加深理解其工作原理；明确齿轮泵密封容积的形成及其大小变化的方式；正确使用工具对齿轮泵进行分解与组装，了解齿轮泵（液压泵）的日常维护工作。

### 2. 训练内容

齿轮泵的拆卸与装配。

### 3. 设备、材料

设备、材料见图 5-40，清单见表 5-1。



图 5-40 CB-B 型齿轮泵

表 5-1 设备、材料清单

名 称	规格（参考）	数 量
齿轮泵	CB-B 型	1 台
内六角扳手	相应	1 套
固定扳手、活动扳手	相应	各 1 只
螺丝刀	相应	1 套
卡簧钳		1 只
辅件	铜棒、棉纱、干净布、煤油等	若干

### 4. 训练步骤

- （1）将齿轮泵内的液体（润滑油）放干净。
- （2）用内六角扳手在对称位置上松开各个紧固螺栓，取掉螺栓及定位销，掀去前、后泵盖。
- （3）注意观察吸油腔、压油腔等内部结构。
- （4）从泵体中取出主动齿轮及轴、从动齿轮及轴。
- （5）分解端盖与轴承、齿轮与轴、端盖与油封（此步可以不做）。
- （6）使用煤油清洗各部件，并用干净布擦净晾干，准备组装，如图 5-41 所示。



图 5-41 齿轮泵分解出各部件

(7) 装配步骤与拆卸步骤相反。

(8) 结束工作，清理工作位置，归还材料、工具等。

### 5. 注意事项

(1) 拆、装齿轮泵时一定要在洁净的环境中进行。

(2) 拆、装过程中元件要轻拿轻放；遇到元件卡住的情况时，不能用金属物件乱敲、硬砸，应使用铜棒轻敲打零部件，以免损坏零部件和轴承。

(3) 装配前，各零件必须仔细清理干净，用干净布擦去积油（勿用棉纱，以免线头掉入），不得有切屑磨粒或其他污物。

(4) 装配时，遵循先拆的部件后安装，后拆的部件先安装的原则。拧紧螺栓时，要注意使其受力均匀。安装完毕后应使泵转动灵活平稳，没有阻滞、卡死现象。

(5) 在对齿轮泵进行拆卸后，重新装配的过程中，需要对机械密封件和各零件是否依然有效进行检查，一旦发现失效损坏现象，则必须更换新的备件（为了不损坏零件，安装需谨慎）。

(6) 检修工具，拆卸清洗更换的零部件，要放在规定的地方，摆放整齐，做到文明施工。

### 6. 思考

(1) 齿轮泵由哪几部分组成？

(2) 齿轮泵各密封腔是怎样形成的？

(3) 齿轮泵是如何完成吸、压油分配的？

(4) 齿轮泵中存在几种可能产生泄漏的途径？为了减小泄漏，该泵采取了什么措施？



## 5.3 气动控制技术

气压控制技术与传动简称气动，是指以压缩空气为工作介质来传递动力和控制信号，完成能量与信号的传递，进而控制和驱动各种机械和设备，是实现各种生产过程机械化、自动化控制的一门技术。

### 5.3.1 气动控制技术概述

近几十年来，气压控制（传动）技术在促进自动化的发展中起到了极为重要的作用。由于以压缩空气为工作介质具有防火、防爆、防电磁干扰，抗振动、冲击、辐射，无污染，结构简单，工作可靠等特点，所以气动技术与液压、机械、电气和电子技术结合在一起，互相补充，已发展成为实现生产过程自动化的一个重要手段，在机械工业、冶金工业、轻纺食品工业、化工、交通运输、航空航天、国防建设等行业得到广泛的应用。

#### 1. 特点

##### 1) 使用方便

由于以空气作为工作介质，而空气随处可取，来源方便，取之不尽，因此可节省购买、存储、运输的费用和麻烦。使用后的空气可直接排出，对环境无污染，处理方便，不必设置回收，因而也不存在介质的变质、补充和更换等问题。

### 2) 可实现远距离传输

由于空气黏度很小(约为液压油的万分之一),因而在管内流动阻力较小,压力损失小,有利于集中供气和远距离输送。

### 3) 快速反应性好

气动控制动作迅速,反应快,可在较短的时间内达到所需的压力和速度。在一定的超载运行下也能保证系统安全工作,并且在排气时气体因膨胀而使温度降低,因而气动设备可以自动降温,长期运行也不易发生过热现象。

### 4) 加工与系统组装方便

气动元件结构简单,便于加工制造,适用标准化、系列化、通用化。使用快速接头可以非常简单地进行配管,因此系统的组装、维修及元件的更换都比较简单。

### 5) 可靠性高

压缩空气不会爆炸或着火,安全可靠。气动系统对工作环境适应性好,特别是在易燃、易爆、多尘埃、强磁、辐射、振动、冲击等恶劣工作环境中工作时,安全可靠性能都优于液压、电子和电气系统。

### 6) 储存方便

空气具有可压缩性,使气动系统能够实现过载自动保护和较高的自保持能力,便于压缩空气存储在储气罐内,随时取用,以备急需。即使压缩机停止运行,气阀关闭,气动系统仍可维持一个稳定的压力,故不需要压缩机的连续运转。

### 7) 清洁

工作介质清洁,基本无污染,对于要求高净化、无污染的场合,如食品、印刷、木材和纺织工业等是极为重要的。

### 8) 速度稳定性差

由于空气可压缩性大,气缸的运动速度易随负载的变化而变化,稳定性较差,给位置控制和速度控制精度带来较大影响。需通过采用气液联动装置解决该问题。

### 9) 需要净化和润滑

压缩空气必须有良好的处理,去除含有的灰尘和水分。空气本身没有润滑性,系统中必须采取措施对元件进行给油润滑,如加油雾器等装置进行供油润滑。

### 10) 输出力小

工作压力低(一般低于0.8MPa),又因结构尺寸不宜过大,因而气动系统输出力小。在相同输出力的情况下,气动装置比液压装置尺寸大。

### 11) 噪声大

排放空气的声音很大,即排气噪声大,需要加装消音器。

### 12) 稳定性稍差

气缸在低速运动时,受摩擦力影响较大,因而稳定性稍差。

## 2. 气压系统与液压、电气系统的比较

(1) 使用气动技术既安全又对周围环境无污染,这是液压技术的一个优点。即使在很小的空间里,也可以实现细小的动作;如果尺寸相同,其功率能超过电气系统。

(2) 采用气液联动方式后,气缸速度比液压要快,因此气动反应快,动作迅速,维护简单,管路不易堵塞,流动损失小,可远距离输送。

(3) 压力等级低, 工作环境适应性好, 可安全可靠地应用于易燃易爆场所等。特别是在恶劣工作环境中工作时, 使用安全性优于液压、电子和电气系统。

(4) 气动控制具有防火、防爆、防潮的能力。与液压方式相比, 气动方式可在高温场合使用 (通常为  $160^{\circ}\text{C}$  以内)。

(5) 气缸在低速运动时候, 由于摩擦力占推力的比例较大, 因此气缸的低速稳定性不如液压缸。

(6) 由于工作压力低, 使气缸的输出力比液压缸要小, 并有一定的排气噪声等。

## 5.3.2 气动控制 (传动) 系统的组成及工作原理

### 1. 基本工作原理

气压以压缩气体为工作介质, 靠气体的压力传递动力或信息的流体。传递动力的系统将压缩气体经由管道和控制阀输送给气动执行元件, 把压缩气体的压力能转换为机械能而做功; 传递信息的系统则利用气动逻辑元件或射流元件以实现逻辑运算等功能, 统称气动控制系统。

气动控制 (传动) 系统利用空气压缩机将电动机或其他原动机输出的机械能转变为空气的压力能, 然后在控制元件的控制和辅助元件的配合下, 通过执行元件把空气的压力能转变为机械能, 从而完成直线或回转运动并对外做功。

### 2. 组成

典型的气动控制 (传动) 系统, 一般由以下 4 部分组成。

#### 1) 气压发生装置

气压发生装置即气源装置, 将原动机输出 (提供) 的机械能转变为气体的压力能, 为系统提供压缩空气。其主要设备是空气压缩机; 并配有储气罐等附属设备。

#### 2) 控制元件

控制元件也称为气动控制阀, 用来控制压缩空气 (或气流) 的压力、流量和流动方向, 以保证执行元件具有一定的输出力和速度, 并按设计的程序正常工作。为此, 根据完成功能不同, 控制元件相应地分为压力控制阀、流量控制阀、方向控制阀等。

#### 3) 执行元件

气动执行元件是将压缩空气的压力能转变为机械能的能量转换装置, 用来驱动工作部件。主要形式分有气缸输出直线往复式机械能、摆动气缸和气动电动机分别输出回转摆动式和旋转式的机械能。

#### 4) 辅助元件

辅助元件是用于辅助保证气动系统正常工作的一些装置, 如空气过滤器 (用于净化空气)、干燥器 (吸收空气中的水分)、消声器 (消除噪声) 和油雾器 (改善空气润滑性能) 及用于感受和传递各种信息的气动传感器等。

### 【例 5-3】气动剪切机

如图 5-42 所示为一种气动剪切机及其气动控制系统。

气动剪切机的工作过程: 从空气压缩机产生的压缩空气 (高温高压)  $\rightarrow$  冷却器  $\rightarrow$  排水器  $\rightarrow$  储气罐  $\rightarrow$  过滤器  $\rightarrow$  减压阀  $\rightarrow$  油雾器  $\rightarrow$  换向阀。剪切前, 换向阀控制部分压缩气体经节



流通路进入换向阀的下腔，迫使换向阀上腔弹簧压缩，因而换向阀的阀芯上移置于阀上端，则大部分的压缩空气经换向阀后进入气缸的上腔，使气缸活塞下移运动处于气缸的最下端位置，并带动剪刀下移，打开刀口。该过程如图 5-42 (b) 中实线箭头所示。

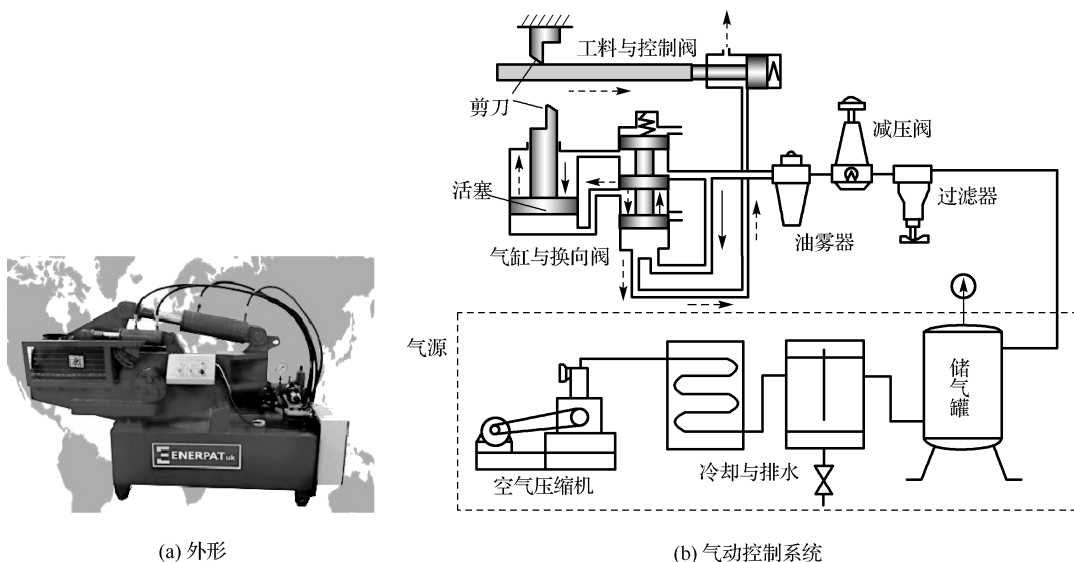


图 5-42 气动剪切机及其气动控制系统

当工料送入剪切机刀口并到达规定位置（即剪切尺寸）时，工料将压住工料控制阀，控制阀的阀芯在外力作用下右移，控制阀弹簧压缩，打开排气口，从而使换向阀下腔的压缩空气经控制阀的排气口排出大气；在换向阀弹簧复位的推动下，换向阀的阀芯向下运动至阀下端；此时压缩空气则经换向阀后直接进入气缸的下腔，迫使气缸活塞向上运动，而带动剪刀上行剪断工料。该过程如图 5-42 (b) 中虚线箭头所示。

工料剪下后，即与控制阀脱开。控制阀的阀芯在控制阀弹簧作用下复位（左移），控制阀排气口关闭，部分压缩气体又经节流通路进入换向阀的下腔，重新迫使换向阀的阀芯上移。气缸活塞又向下运动，打开刀口，又恢复到剪断前的状态。

气动剪切机的气源装置由空气压缩机、散热器、排水器和储气罐等构成；辅助元件则由过滤器、减压阀、油雾器和管件及管接头等构成；控制元件由换向阀、工料控制阀等组成；执行元件为气缸。

### 5.3.3 主要气动元件

#### 1. 气源装置

##### 1) 空气压缩机

空气压缩机是气源装置中的主体，也是气动系统的核心设备，简称空压机。它是将原动机（电动机）的机械能转换成气体压力能的装置，是压缩空气的气压发生装置，并提供气源动力。

如图 5-43 所示为小型空气压缩机的外形。



图 5-43 小型空气压缩机的外形

空压机的种类很多,按工作原理可分为容积型、动力型(速度型或透平型)、热力型压缩机等;按润滑方式可分为无油空压机和机油润滑空压机等;按性能可分为低噪声、可变频、防爆等空压机等;按用途可分为冰箱压缩机、空调压缩机、制冷压缩机、油田用压缩机、天然气加气站用压缩机、凿岩机用压缩机、风动工具、车辆制动用压缩机、门窗启闭用压缩机、纺织机械用压缩机、轮胎充气用压缩机、塑料机械用压缩机、矿用压缩机、船用压缩机、医用压缩机、喷砂喷漆用压缩机等;按形式可分为固定式、移动式、封闭式等。

最常用的空压机为容积型,其工作原理是压缩气体的容积(体积),使单位体积内气体分子的密度增加,从而提高压缩空气的压力。容积型空压机又分活塞式、回转式、滑片式、螺杆式、离心式、涡旋式等类型。

活塞式压缩机:其压缩元件是一个活塞,在气缸内做往复运动,如图 5-44 所示。

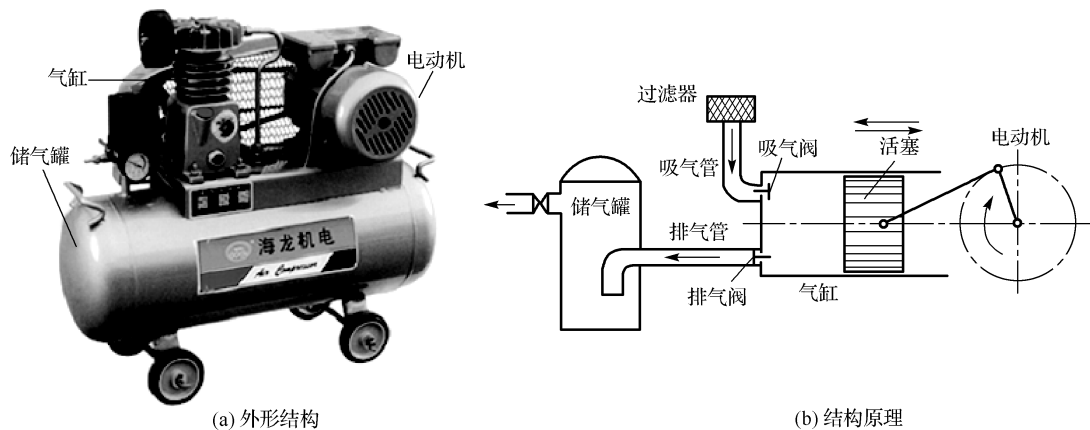


图 5-44 活塞式压缩机





在气缸内做往复运动的活塞向右移动时,气缸内活塞左腔的压力低于大气压力,吸气阀开启,外界空气吸入缸内,这个过程称为压缩过程。当缸内压力高于输出空气管道内压力后,排气阀打开,压缩空气送至储气罐、输气管内,这个过程称为排气过程。活塞的往复运动是由电动机带动的曲柄滑块机构形成的,曲柄的旋转运动转换为活塞的滑动往复运动。

## 2) 冷却装置

冷却装置(又称冷却器、散热器、后冷却器)通常安装在空气压缩机的排气管道上,将压缩机输出的压缩气体(高压高温)降温,再送至排水装置。冷却装置按冷却方式可分为水冷、风冷(空气);按结构形式可分间壁式冷却器、喷淋式冷却器、夹套式冷却器和蛇管式冷却器等。

如图 5-45 所示为几种冷却器的外形。

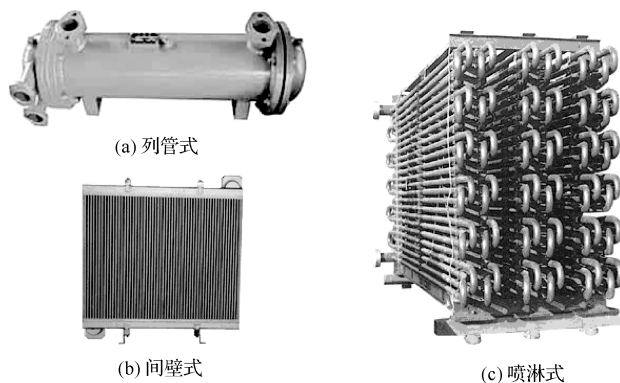


图 5-45 几种冷却器的外形

常用的蛇管式冷却器如图 5-46 所示。其结构主要由一只蛇状空心盘管和一只盛装此盘管的圆筒组成。蛇状盘管可用铜管或钢管弯制而成,蛇管的表面积也就是该冷却器的散热面积。由空气压缩机排出的热空气由蛇管上部进入(如图 5-46 所示),通过管外壁与管外的冷却水进行热交换,冷却后由蛇管下部输出。这种冷却器结构简单,使用和维修方便,因而被广泛用于流量较小的场合。

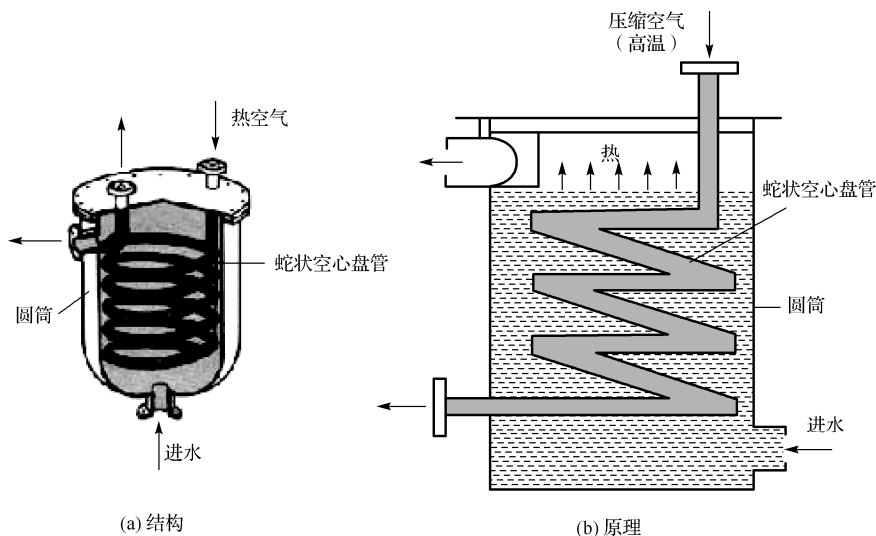


图 5-46 蛇管式冷却器

另外一种常用的后冷却器是列管式冷却器，如图 5-47 所示。

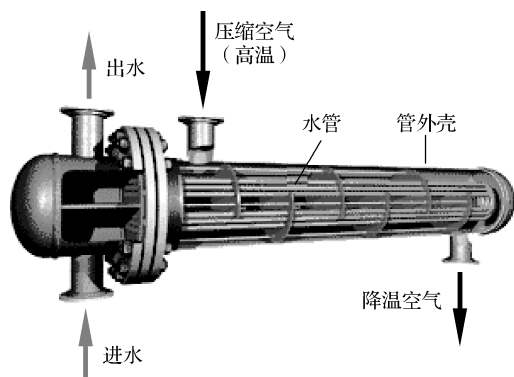


图 5-47 列管式冷却器

其主要由外壳、冷却水管、隔板等组成。工作时，冷却用水在水管内流动，空气则在管间流动；冷却用水的流动带走压缩空气的热量或除去热量。这种冷却器可用于较大流量的场合。

### 3) 排水装置（油水分离器）

排水装置即压缩空气油水分离器，主要用于分离压缩空气中凝聚的水分和油分等杂质，使压缩空气得到初步净化。

油水分离器如图 5-48 所示。

油水分离器通常安装在冷却器的出气管道上，当压缩空气进入油水分离器后产生流向和速度的急剧变化，再依靠惯性作用，将密度比压缩空气大的油滴和水滴分离出来。

如图 5-49 所示为油水分离器中气与油、水分离过程。



图 5-48 油水分离器

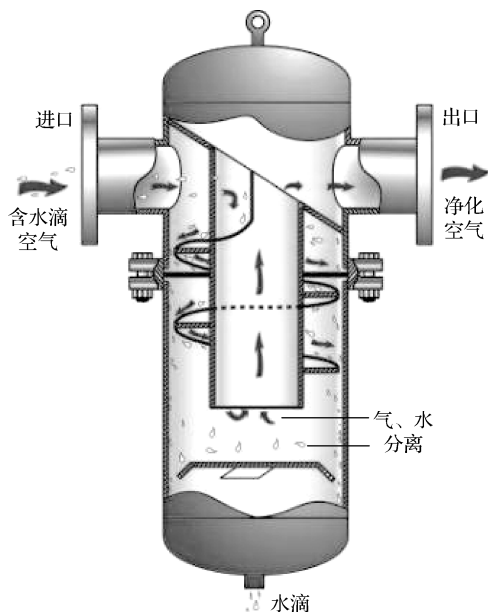


图 5-49 气与油、水分离过程

从冷却器输送来的压缩空气自进口进入分离器壳体后，气流先受隔板阻挡撞击折回向

下，继而又回升向上，产生环形回转。这样使水滴和油滴在离心力和惯性力作用下，从空气中分离析出并沉降在壳体底部，只要定期打开底部阀门即可排出油滴、水滴，而经初步净化的空气则从出口送往储气罐。

#### 4) 储气罐

储气罐主要用于存储一定数量的压缩空气，调节用气量，消除往复式空压机所产生的压力波动，使气源压力趋于稳定并保证输出气流的连续性，以备发生故障和临时需要应急使用，并可进一步分离压缩空气中的水分和油分。

储气罐一般采用圆筒状焊接结构，分有立式和卧式两类。

如图 5-50 所示为几种储气罐。



图 5-50 储气罐

## 2. 控制元件

在气动控制（传动）系统中的控制元件是用于控制和调节压缩空气的压力、流量、流动方向和发送信号的重要元件。由各种控制元件组成的各种气动控制回路，使气动执行元件按设计的程序正常地进行运行及工作。

气动控制元件按功能和用途可分为方向控制元件（控制阀）、压力控制元件（控制阀）和流量控制元件（控制阀）三大类。

#### 1) 方向控制元件

方向控制元件控制气流的通断或改变气体流动方向。方向控制元件可分为换向阀、单向阀、逻辑控制阀、快排阀等。

如图 5-51 所示为气动的方向控制元件。



图 5-51 方向控制元件

快排阀是为加快气缸运动速度快速排气而设置的。

## 2) 压力控制元件

压力控制元件是指调节和控制压缩空气压力大小的气动元件。按其实现的功能划分，压力控制元件可分为调压阀（减压阀）、溢流阀、顺序阀等。

如图 5-52 所示为气动的压力控制元件。



图 5-52 压力控制元件

## 3) 流量控制元件

在气动系统中，对气缸运动速度、信号延迟时间、油雾器的滴油量、缓冲气缸缓冲强弱等控制，都是依靠控制流量来实现的，因此，实现该类控制的控制元件就是流量控制元件。流量控制元件又可分为固定节流阀、可调节流阀、单向节流阀等。

如图 5-53 所示为气动的流量控制元件。

上述各类控制元件的作用、工作原理、结构等与液压控制元件中同类型阀相似或基本相同，只是二者的工作介质不同和密封程度要求不同而已。

## 3. 执行元件

气动执行元件是将气体能转换成机械能，以实现往复运动或回转运动的执行元件。



图 5-53 流量控制元件

能实现直线往复运动或往复摆动的气动执行元件称为气缸；而实现回转运动或旋转运动的气动执行元件称为气动电动机。

### 1) 气缸

气缸通常分为往复直线运动的气缸和做往复摆动的气缸两种类型，如图 5-54 所示。

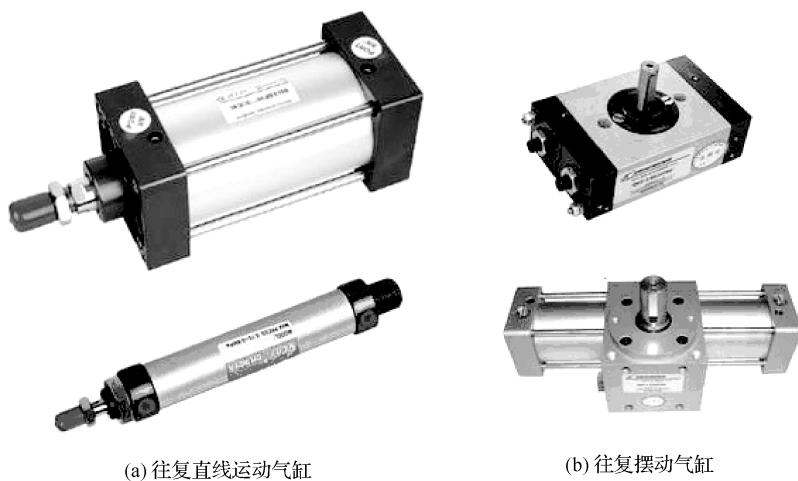


图 5-54 气缸

气缸是由端盖、气缸筒、活塞、活塞杆和密封圈等构成，如图 5-55 所示。

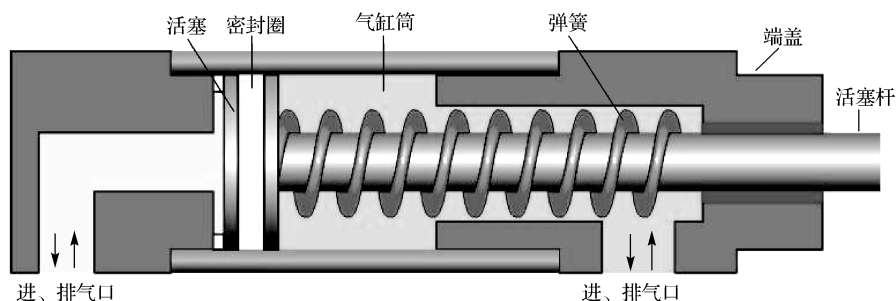


图 5-55 气缸结构

(1) 往复直线运动气缸。往复直线运动气缸又可分为单作用气缸、双作用气缸、膜片式气缸和冲击气缸等。

单作用气缸：仅一端有活塞杆，从活塞一侧供气，聚能产生气压，气压推动活塞产生推力伸出，靠弹簧或自重返回。

如图 5-56 所示为单作用气缸。

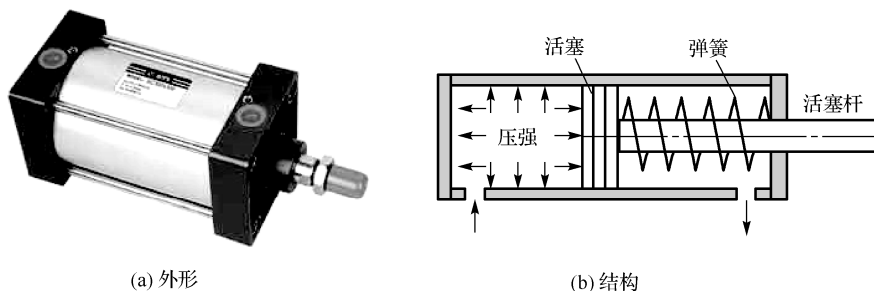


图 5-56 单作用气缸

双作用气缸：从活塞两侧交替供气，在一个或两个方向输出力。

如图 5-57 所示为双作用气缸。

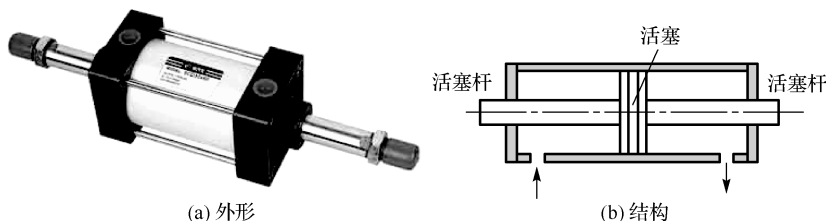


图 5-57 双作用气缸

膜片式气缸：用膜片代替活塞，只在一个方向输出力，用弹簧复位。其密封性能好，但行程较短。

如图 5-58 所示为膜片式气缸。

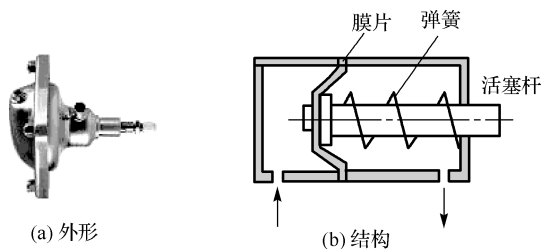


图 5-58 膜片式气缸

冲击气缸：这是一种新型元件，广泛应用于下料、冲孔、破碎和成形等多种带冲击性的作业。冲击气缸将压缩气体的压力能转换为活塞高速（10~20m/s）运动的动能，借以做功。结构上，冲击气缸增加了带有喷口和泄流口的中盖；中盖和活塞把气缸分成储气腔、头腔和尾腔 3 室。

如图 5-59 所示为冲击气缸。

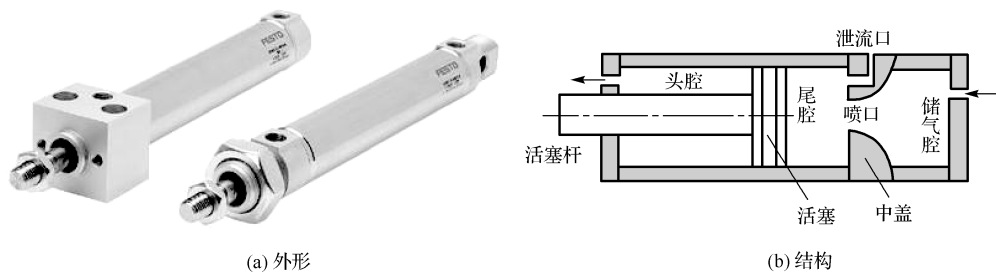


图 5-59 冲击气缸

(2) 往复摆动气缸。往复摆动气缸是指做往复摆动的气缸，如图 5-60 所示。



图 5-60 摆动气缸

摆动气缸是通过隔板及叶片将内腔分隔为左右两腔，然后向两腔交替供气，使输出轴做往复摆动运动，摆动角小于  $280^\circ$ ，如图 5-61 所示。

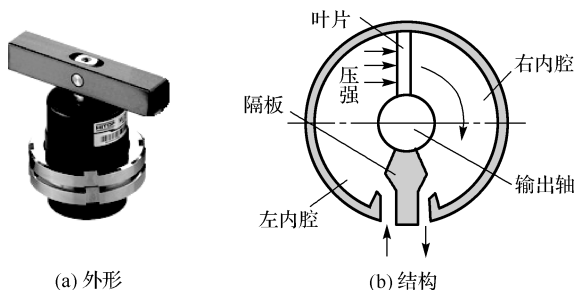


图 5-61 摆动气缸结构

## 2) 气动电动机

气动电动机是以压缩空气为工作介质的原动机，并利用压缩气体的膨胀作用，把压力能转换为机械能的动力装置。其作用相当于液压电动机，即输出转矩以驱动其他机构做旋转运动。

如图 5-62 所示为几种气动电动机的外形。



图 5-62 几种气动电动机的外形

常用的气动电动机为容积式气动电动机，它利用工作腔的容积变化来做功。按结构可分为叶片式、活塞式和齿轮式等。

## (1) 叶片式气动电动机。

如图 5-63 所示为叶片式气动电动机。工作过程：压缩空气若从正转进气口输入，由于叶片贴紧在定子内壁上，压缩空气进入各相应的密封空间而作用于两个叶片上。由于两叶片伸出长度不等，因此就产生了转矩差，迫使叶片与转子按逆时针方向旋转，做功后的气体由定子上的排气口排出。

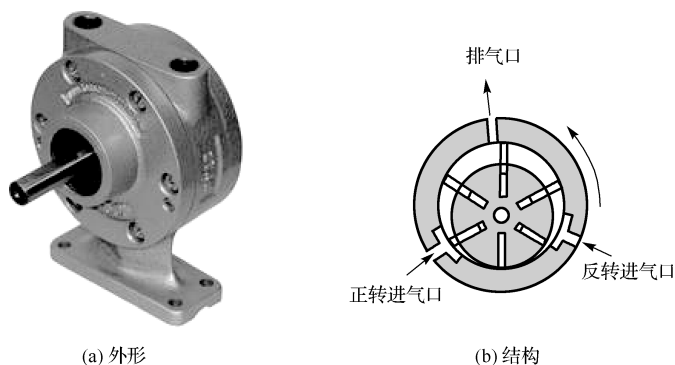


图 5-63 叶片式气动电动机

若改变压缩空气的输入方向（即压缩空气由反转进气口进入）则可改变转子的转向。

## (2) 活塞式气动电动机。

如图 5-64 所示为活塞式气动电动机。工作过程：压缩空气进入配气阀芯使其转动，同时借配气阀芯转动，将压缩空气依次送入周围各气缸中，由于气缸内压缩空气的膨胀，从而推动活塞连杆和曲轴转动，当活塞被推至“下死点”时，配气阀芯同时也转至第一排气位置。经膨胀后的气体自行从气缸经过阀的排气口直接排出。同时活塞缸内的剩余气体全部自配气阀芯分配阀的排气口排出，经过这样往复循环作用，就能使曲轴不断旋转。

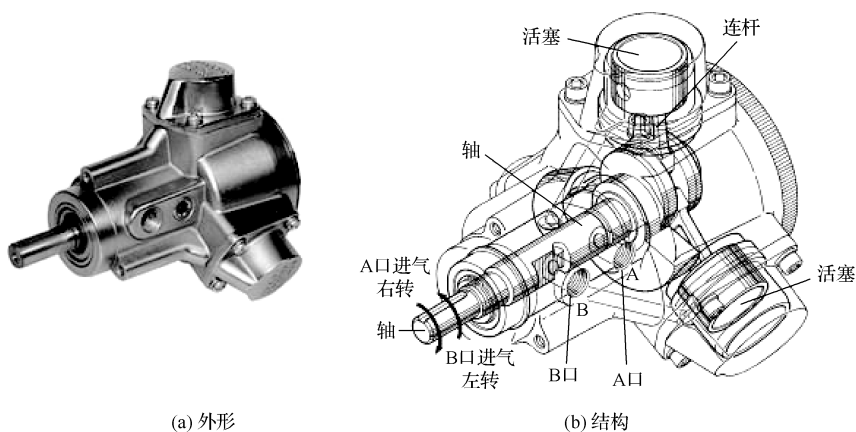


图 5-64 活塞式气动电动机

## (3) 齿轮式气动电动机

如图 5-65 所示为齿轮式气动电动机。工作过程：这种气动电动机的工作室由一对齿轮构成，压缩空气由对称中心处输入，齿轮在压力的作用下回转。



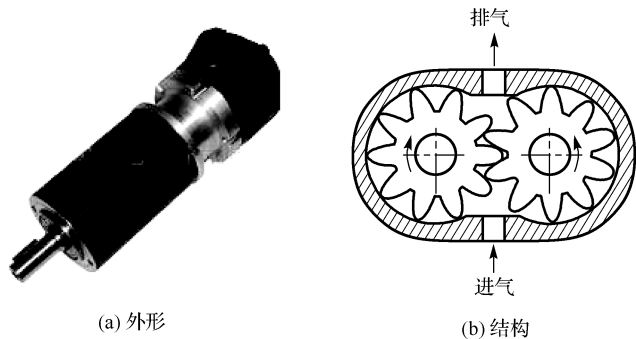


图 5-65 齿轮式气动电动机

相比于液压执行元件，气动执行元件具有：①运动速度快；正常工作的环境温度的范围宽，一般可在 35~80℃的环境下正常工作；工作压力低，适用于低输出力的场合。②结构简单，制造成本低，维修方便，便于调节其输出力和速度的大小；另外，安装方式、运动方向和执行元件的数目，可根据机械装置的要求由设计者自由选择。③由于气体的可压缩性，使气动执行元件在速度控制、抗负载影响等方面的性能劣于液压执行元件。若要精确地控制运动速度或减小负载变化对运动的影响时，常常需要借助气动-液压联合装置等来实现。

#### 4. 辅助元件

##### 1) 空气过滤器

空气中含有的杂质和灰尘若进入机体和系统中，将加剧相对滑动件的磨损，加速润滑油的老化，并降低密封性能，导致排气温度升高，功率损耗增加，从而使压缩空气的质量大为降低。因此，在空气进入压缩机之前，必须经过空气过滤器，以滤去其中所含的灰尘和杂质。

如图 5-66 所示为空气过滤器。



图 5-66 空气过滤器

空气过滤器通常是由壳体和滤芯组成。按滤芯所采用的材料不同又可分为纸质、织物（麻布、绒布、毛毡）、陶瓷、泡沫塑料和金属（金属网、金属屑）等过滤器。空气压缩机中普遍采用纸质过滤器或金属过滤器。

##### 2) 空气干燥器

从压缩机输出的压缩空气经过冷却装置（冷却器）、排水装置（油水分离器）及储气罐

的初步净化处理后已能满足一般气动系统的使用要求。但对于一些精密机械、仪表等装置还不能满足要求。为进一步净化处理及防止初步净化后的气体的湿度对精密机械、仪表产生锈蚀，需要进一步干燥和再精细过滤，因此设置了空气干燥器。

如图 5-67 所示为空气干燥器。



图 5-67 空气干燥器

空气干燥器通常采用吸附式干燥器，其主要是利用干燥筒内的硅胶、活性氧化铝、焦炭、分子筛等物质表面能吸附水分的特性来吸收和排除压缩空气中的水分和部分油分与杂质，使空气变得完全干燥。

### 3) 油雾器

油雾器是一种特殊的注油装置，它是以压缩空气为动力，将润滑油喷射成雾状并混合于压缩空气中，并随压缩空气流入需要润滑的部位，达到润滑的目的。目前，各种气动控制阀、气缸和气动电动机等元件主要是靠这种带有油雾的压缩空气来实现润滑的。因此，油雾器是使压缩空气具有润滑气动元件能力的装置。

如图 5-68 所示为几款油雾器。



图 5-68 油雾器

油雾器的储油杯一般由透明的聚碳酸酯制成，能清楚地看到杯中的储油量和清洁程度，以便及时补充与更换。视油器由透明的有机玻璃制成，能清楚地看到油雾器的滴油情况。

### 4) 消声器

气压装置的噪声一般都比较大会比较大，尤其当压缩气体直接从气缸或阀中排向空间大气，较

高的压差使气体体积急剧膨胀，产生涡流，引起气体的振动，发出强烈的噪声，为消除这种噪声应安装消声器。

消声器是指能阻止声音传播而允许气流通过的一种气动元件，是消除空气动力性噪声的重要措施。消音器通常安装在空气动力设备（如鼓风机、空压机、锅炉排气口、发电机、水泵等排气口噪声较大的设备）的气流通道上或进、排气管道上，以降低噪声。

消音器的种类很多，在气动装置中的消声器主要包括阻性消声器、抗性消声器及阻抗复合消声器。

#### （1）阻性消声器。

阻性消声器主要是利用多孔吸声材料（玻璃纤维、毛毡、泡沫塑料、烧结金属、烧结陶瓷及烧结塑料等）来降低噪声。

如图 5-69 所示为阻性消声器。将吸声材料固定在气流流动通道、管道的内壁上或按照一定方式在管道中排列，就可构成阻性消声器。当气流（声波）进入阻性消声器时，使部分声音能在多孔材料的孔隙中摩擦而转化成热能耗散掉，从而使通过消声器的声波减弱，起到消声作用。这种消声器能在较宽的中、高频范围内消声，特别对刺耳的高频声波消声效果更为显著，但对低频消声效果较差，主要应用于发电机机组的消音。

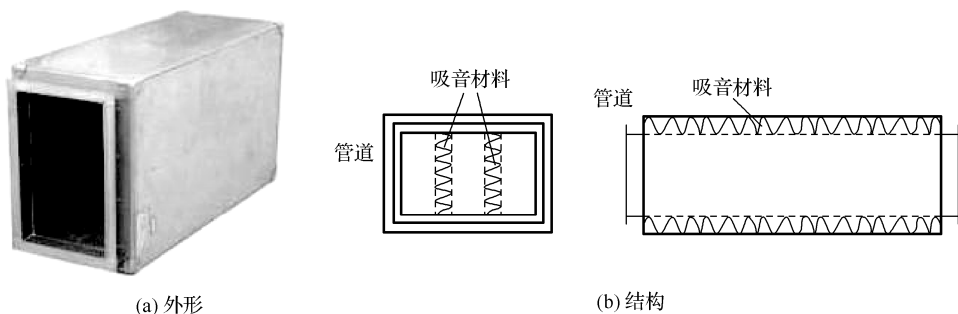


图 5-69 阻性消声器

#### （2）抗性消声器。

抗性消声器又称声学滤波器，是根据声学滤波原理制造的。其结构是一段粗而长的管件，如图 5-70 所示。

将抗性消声器接在排气口，让气流在管道里膨胀、扩散、反射、相互干涉而消声。它具有良好的低频消声性能，但消声频带窄，对高频消声效果差。



图 5-70 抗性消声器

#### （3）阻抗复合消声器。

阻抗复合消声器是综合上述两种消声器的特点而构成的，这种消声器既有阻性吸声材料，又有抗性消声器的干涉等作用，能在很宽的频率范围内起到消声作用。

如图 5-71 所示为阻抗复合消声器。

#### 5) 转换器

在气动控制系统中，也与其他自动控制装置一样，有控制、发信和执行等部分，其控

制部分的工作介质为气体，而信号传感部分和执行部分的工作介质不一定全用气体，可能用电或液体传输，这就需要通过转换器来转换。常用的转换器有气-电、电-气、气-液等转换器。

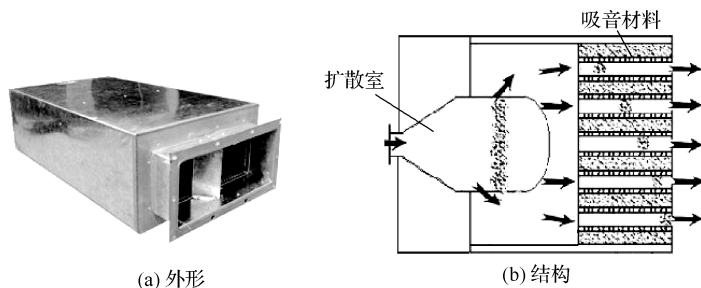


图 5-71 阻抗复合消声器

## (1) 气-电转换器。

气-电转换器是将压缩空气的气信号转变成电信号的装置，即用气信号（气体压力）接通或断开电路的装置，也称为压力继电器。

如图 5-72 所示为气-电转换器。

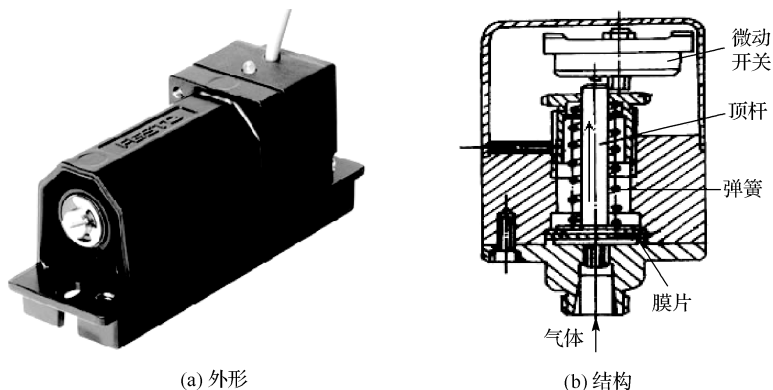


图 5-72 气-电转换器

工作过程：气体进入通道后，膜片受气压而产生推力，该力推动顶杆克服弹簧的弹力向上移动，迫使微动开关（触点）动作而发出电信号，完成气-电的转换。

## (2) 电-气转换器。

电-气转换器的作用正好与气-电转换器的作用相反，它是将电信号转换成气信号的装置。如图 5-73 所示为电-气转换器。

工作过程：当线圈通电时，将产生磁场而将衔铁吸下；衔铁吸下时压下挡板堵住喷嘴，则输入的气体经过节流孔后从输出口输出，即产生输出气信号。但线圈断电时磁场将消失，衔铁在弹性的作用下复位并使挡板离开喷嘴，则输入的气体经节流孔后从喷嘴喷出，而使输出口无气信号输出，完成电-气的转换。

## (3) 气-液转换器。

气-液转换器是将空气压能转换为油压能的元件，作为辅件元件接入气液回路，用以消除气动系统或回路中出现低速运动时的爬行和不稳定现象，以求获得较平稳的速度。

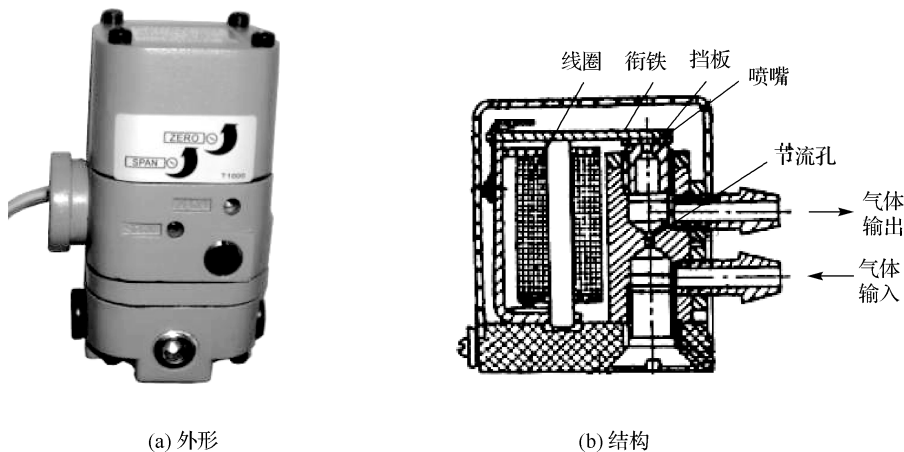


图 5-73 电-气转换器

如图 5-74 所示为气-液转换器。

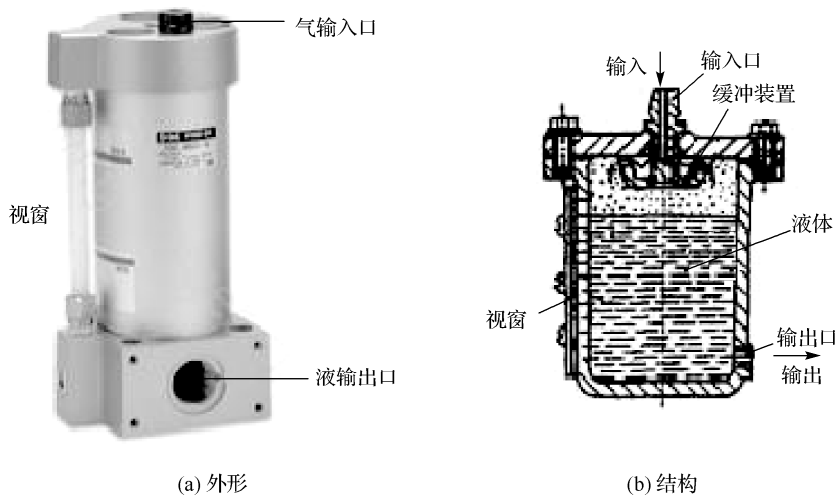


图 5-74 气-液转换器

工作过程：在一筒式容器内，压缩空气直接作用在液面上，或通过活塞、隔膜等作用在液面上，再推压液体以同样的压力向外输出，完成气-液的转换。如图 5-74 所示，压缩空气由输入口进入转换器，经缓冲装置后，直接作用于液压油面上，液压油即以压缩空气相同的压力从转换器输出口输出。缓冲装置用以避免气流直接冲到液面上引起飞溅；视窗用于观察液位高低，转换器的储油量要求应不小于液压缸最大有效容积的 1.5 倍。



## 5.4 应用实例

当前液压、气动（传动）系统及控制技术发展和研究的方向是数控技术的融入，大大提高了液压、气动系统的可靠性、柔性。

## 5.4.1 数控技术在液压系统（设备）的应用

### 1. 数控液压机

#### 1) 用途

液压机（又称油压机）是机械行业中常用的加工设备，可广泛用于各种可塑性（金属材料、非金属材料）材料的压制工艺，如冲压、弯曲、翻边、薄板拉伸等。也可以从事校正、压装、砂轮成形、冷热金属零件成形、塑料制品及粉末制品的压制成形工艺，以及有关压制方面的新工艺、新技术的试验研究等。已经广泛应用到医疗、科技、军事、工业、自动化生产、运输、矿山、建筑、航空等领域。

如图 5-75 所示为数控液压机外形。

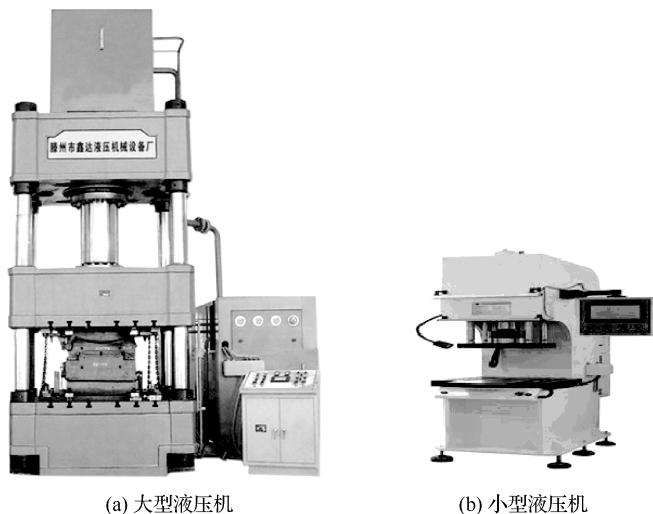


图 5-75 数控液压机外形

#### 2) 种类

（1）按传递压强的液体种类。液压机是一种以液体为工作介质，用来传递能量以实现各种工艺的机器，因此，按液体性质可分以水基液体为工作介质的水压机和以油为工作介质的油压机两类。水压机产生的总压力较大，吨位较高，常用于锻造和冲压。锻造水压机又分为模锻水压机和自由锻水压机两种。模锻水压机要用模具，而自由锻水压机不用模具。油压机的吨位比水压机低。

（2）按作用力的方向。按作用力的方向来划分，液压机又分立式和卧式两种。多数液压机为立式，挤压用液压机则多用卧式。

（3）按动作方式。按动作方式来划分，液压机又分上压式液压机、下压式液压机和特种液压机等。上压式液压机的工作油缸装于机身上部，油缸活塞从上向下移动，模具在工作台与活动横梁之间受压。由于油缸装于机器上方，工作台（下横梁）是固定的，装料可在工作台上进行，操作方便，而且容易实现快速下行，所以应用非常广泛。塑料液压机基本是这种类型。下压式液压机的工作油缸装于机身下部，上横梁固定在立柱上，油缸柱塞推动活动横梁上升，给模具施压。这种液压机重心位置低，稳定性好，油缸装在机身下部，



可避免漏油污染制品。层压塑料一般采用下压式液压机。特种液压机包括角式液压机、层压式液压机、铸压机等。

(4) 按机身结构形式。为便于操作和装料, 液压机一般采用立式开闭模的形式。因此, 按结构形式主要分为四柱式、单柱式(C型)、卧式、立式框架、万能液压机等。四柱式液压机由四根立柱、上下横梁、机座等组成稳定的机身。这种液压机工作空间大, 便于四面观察和接近模具, 结构简单, 工艺适应性较强; 但其承受偏心载荷的能力较差, 在偏心载荷下活动横梁与工作台间易产生倾斜和位移。立式框架液压机的机身是焊接或铸造而成的框架结构, 刚度高。

(5) 按操纵方式。按操纵方式可分有手动、半自动和全自动三种类型。手动液压机通过手工操纵分压器来完成压制过程的每一个工序; 模具一般不固定在液压机上, 装卸模均在机外进行。半自动液压机模具固定在液压机上, 压制程序所需的时间由定时机构来控制, 仅手工给模具加料。自动液压机从物料称量、加料到取出制品和清理模具等均自动进行, 因而劳动强度小, 生产效率高, 但制造复杂, 一般仅用于大量定型制品的生产。

### 3) 结构

四柱式液压机是液压机中最常见的结构形式之一, 其又包括多种结构形式, 如三梁四柱结构、框架拉杆式结构、单柱立式结构等。其最显著的特点是工作空间宽敞、便于四面观察和接近模具。

如图 5-76 所示为四柱式(上压型)数控液压机。

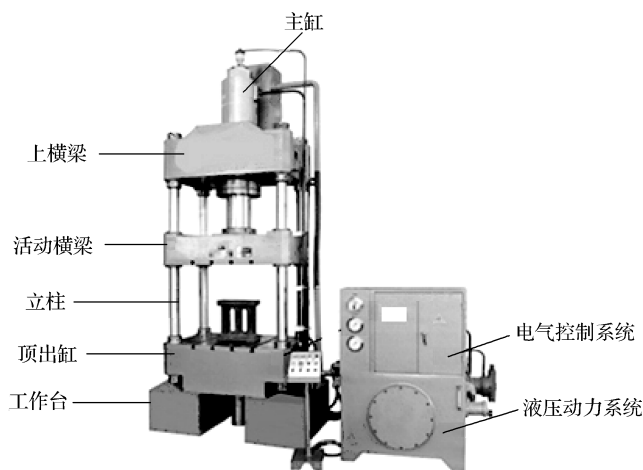


图 5-76 四柱式数控液压机

液压机由主机和动力(控制)机构两大部分组成。

主机部分主要包括工作台、立柱、主缸、顶出缸、上横梁、活动横梁及充液装置等。主缸(工作油缸)安装在上横梁上, 活塞与活动横梁相连, 并以立柱为导向上下移动。

动力(控制)机构部分由液压动力系统、电气控制系统及各种压力阀和方向阀等组成。液压动力系统由动力元件、控制元件、执行元件、辅助元部件、工作介质等组成。动力元件通常采用容积式油泵。为了满足执行元件的运动速度要求, 可选用一个油泵或多个油泵。低压(油压小于 2.5MPa)时采用齿轮泵, 中压(油压小于 6.3MPa)时采用叶片泵, 高压(油压小于 32.0MPa)时采用柱塞泵。电气控制系统可采用 PLC 或其他 CNC 控制系统, 除

依据机器部分的需要必须分散安装于各处的电气元件（如电磁铁、接近开关、压力继电器、压力传感器等）外，其他电气元件均集中安装在电气控制箱内，操作人员只需操纵相应的开关及按钮即可对进行操作。另外，数控液压机具有很强的通用性，其在液压机床上增加压力传感器，经过微机（PLC 或其他 CNC 控制系统）组成的数据采集及系统处理，转换成压装力值，进行数字显示，超限时，送出声光报警及停机信号，以达到对压装力实现自动控制的目的。载荷显示控制器显示清晰、控制准确、反应快、工作稳定可靠。更换不同的传感器及应用软件，用于吨位不同的锻压设备。计数器的应用使每位操作者都知道总数与不合格数等。

液压机在电气装置（电气控制系统）的控制下，通过泵和油缸及各种液压阀实现能量的转换、调节和输送，从而完成各种工艺动作的循环。

## 4) 基本原理（工作过程）

如图 5-77 所示为四柱式（上压型）数控液压机的工作流程。

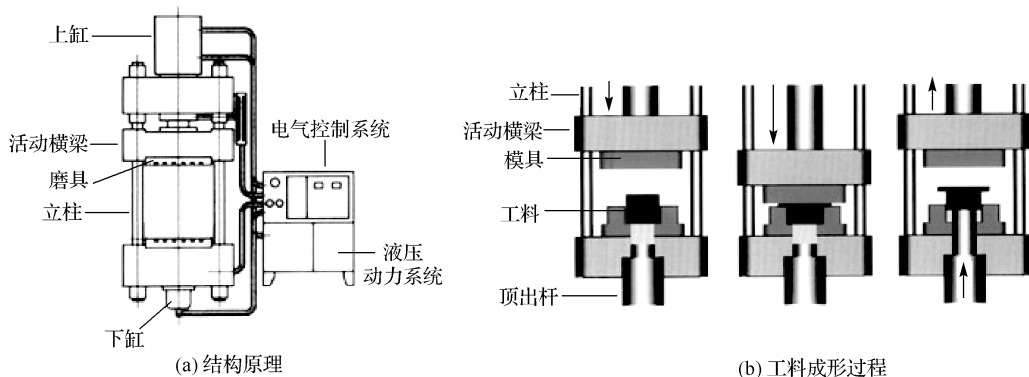


图 5-77 四柱式（上压型）数控液压机的工作流程

液压机的全部动作是由上缸（主缸、工作缸）、下缸（顶出缸）的两个液压缸来完成的，而液压缸又由相应的电磁阀控制。电气部分（电气控制系统）通过控制电磁阀的通、断电来控制整个液压机工艺。从原点开始，按下启动按钮时，快进压制的两个电磁阀通电，活动横梁快速下行；当下行至将要接触到工料时，碰到工进接近开关，使其中一快进电磁阀失电，活动横梁则进入工进状态，模具压制工料。当活动横梁碰到下限位接近开关或压力继电器时，压制的两个电磁阀都失电，压制工作（工料已成形）结束。液压机经过保压延时，延时后活动横梁回程电磁阀通电，则使活动横梁回程。当活动横梁碰到上限位接近开关时，回程电磁阀失电，回程停止，同时下缸顶出电磁阀通电，下缸使顶出杆上移，将成形工件顶出，再经延时后结束，至此完成一个工作循环。

## 5) 其他

应用压力表分别显示上缸、下缸和整个液压动力系统的压力。

增设液压锁（液控单向阀），确保液压管线在意外爆裂时能够安全自锁。

超载声控报警器的安装，用以区别是超载还是设备的故障。

为能够让重物下降时平稳和整个制动安全可靠，防止意外发生，在回油路上设置了平衡阀，这样平衡回路能够保持压力，使下降的速度在不受重物影响下发生变化。

使用节流阀在调节流量时，可准确地控制上、下缸升降的速度。



## 2. 数控液压弯管机

### 1) 用途

数控弯管机主要用于电力施工、公路铁路建设、锅炉、桥梁、船舶、家俱、装潢等方面的管道铺设及修造等。数控弯管机可对管材在冷态或热态下进行一个弯曲半径（单模）或两个弯曲半径（双模）的缠绕式弯曲，因此广泛使用于汽车、空调等行业的各种管件和线材的弯曲。另外，弯管机还可用于塑料管子的塑性成形。

老型号、老式的弯管机在加工时，每次只能完成一次弯曲，经常上下料，生产效率低，无法达到产量和质量的同步提高。因此，各行业对各种弯曲成形管件的数量、规格的需求都在不断增加，花样不断翻新。对弯管精度、表面质量提出更高的要求时，应用数控弯管机可满足所需。而数控弯管机具有功能多、结构合理、操作简单、移动方便、安装快速等突出优点。

如图 5-78 所示为数控液压弯管机。

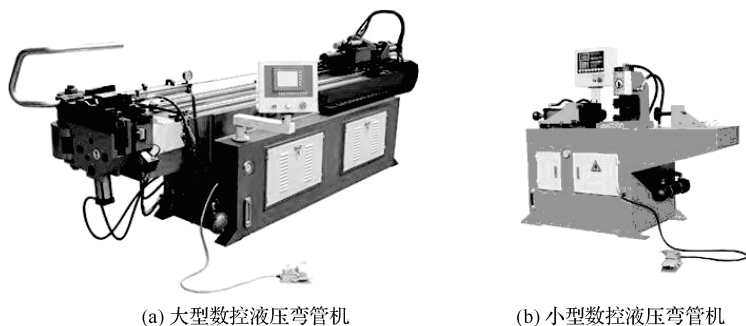


图 5-78 数控液压弯管机

### 2) 种类

弯管机通常只有电动弯管机、液压弯管机、数控弯管机三种类型。

(1) 电动弯管机是纯电动的，由一个电动机带动变速器，通过齿轮、链条的传动完成弯管工作。

如图 5-79 所示为电动弯管机。

(2) 液压弯管机将弯管动作过程分解，分别用液压来驱动夹紧/退夹、弯管/退弯、辅进/辅退、进芯/退芯等动作。另外，液压弯管机通常是普通平面缠绕式自动弯管机；在弯管生产时，弯管的动作是自动的，但其送料、三维转角等都只能依靠定长及角度定位档尺由人工来完成。

如图 5-80 所示为液压弯管机。

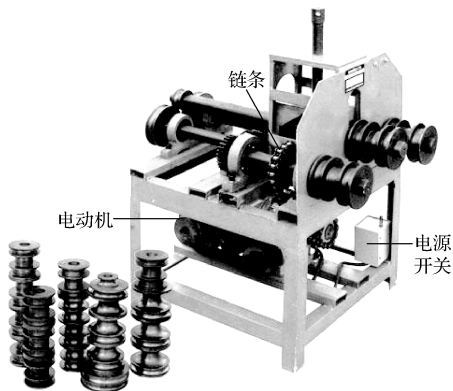


图 5-79 电动弯管机

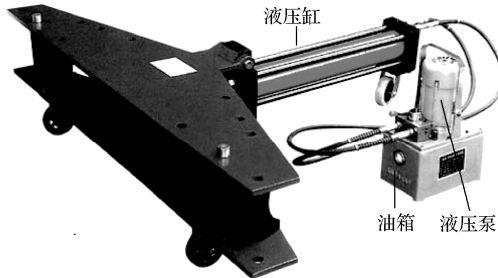


图 5-80 液压弯管机

(3) 数控弯管机用伺服电动机来替代液压，分别可控制小车送料与回退、倾转角度的旋转、弯管/退弯、辅进/辅退、机头升/降等，但其夹紧/退夹、进芯/退芯还是用液压或气压来驱动的。它与液压弯管机的区别在于生产的连续性、加工的精度及管件的三维成形等。

## 3) 结构

数控弯管机的结构如图 5-81 所示。

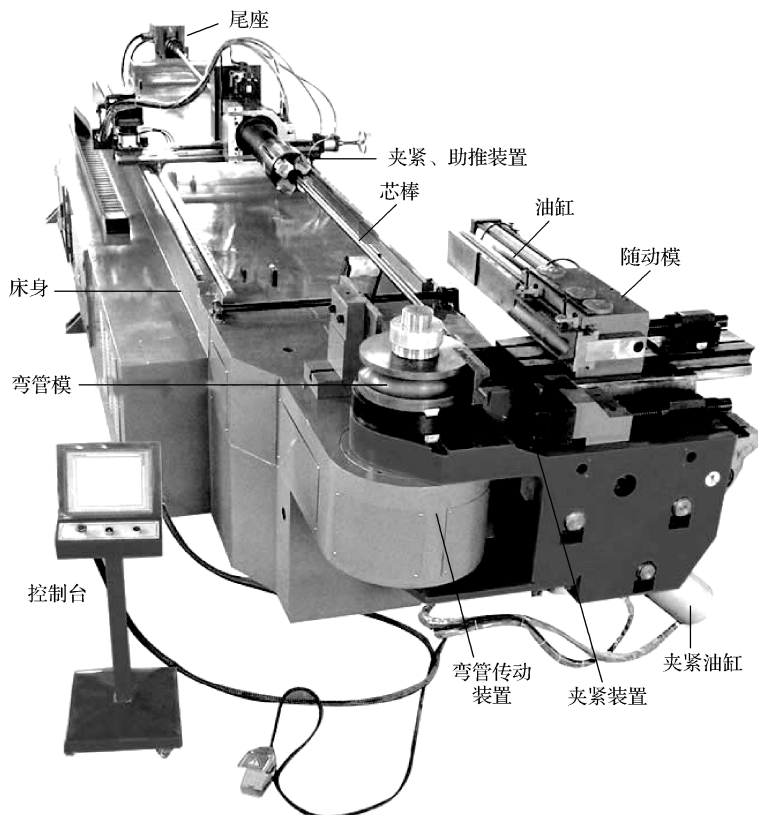


图 5-81 数控弯管机的结构

数控弯管机主要由机械部分、液压系统和电气控制系统三大部分构成。

机械部分主要由夹紧装置、弯管传动装置、助推装置、床身及弯管模等组成。

液压系统由三个主要液压缸组成：夹紧缸产生一定的夹紧力，保证在弯管时管坯紧靠弯模；助推缸用于弯管时向管子弯曲方向施加助推力，降低管子弯曲处的减薄量；弯曲缸通过链条链轮使弯管模旋转，实现弯管。

电气控制系统采用以可编程控制器（PLC）为核心的控制器和触摸屏为操作终端（控制台）。也可以采用 CNC 专用数控系统。PLC 接收触摸屏上的操作控制及液压缸的位置信号和弯曲角度等控制信号，使液压缸按规定的顺序进行动作。触摸屏一方面将弯管机操作控制信号、工艺参数等传送给 PLC，另一方面将 PLC 的控制结果和运行信息显示在触摸屏上，实现生产过程的动态监视。PLC 在液压弯管机控制系统中的应用，克服了由其他电气控制系统易受环境干扰、故障率高和维修困难等缺陷。另外，只需修改软件或程序，便能适应及满足新的工艺要求的变更。

#### 4) 基本原理（工作过程）

弯曲是建立在金属塑性变形的基础上的，利用模具和成形设备对板料和管材金属进行加工，以获得所需要的零件形状和尺寸。

弯管加工过程一般由送料、转料、弯料、主夹动作、辅夹动作及芯棒动作等十几个动作组合而成。

弯管部分动作是由液压驱动工作的。首先，弯管模（弯曲模）固定在主轴上并随主轴一起转动；芯棒（管子）通过夹紧模固定在圆形或扇形弯管模的夹紧槽上，并且芯棒进给装置（移动式助推装置）导向压料滑槽紧贴于管模的弯曲外侧。当弯管模回转一角度 $\theta$ 时，芯棒（管子）就会被缠绕在弯管模的圆周内向，因此弯管模的旋转角度即为弯曲角度 $\theta$ ，也即弯管模决定了芯棒（管子）的弯曲半径。

弯管部分动作如图 5-82 所示。

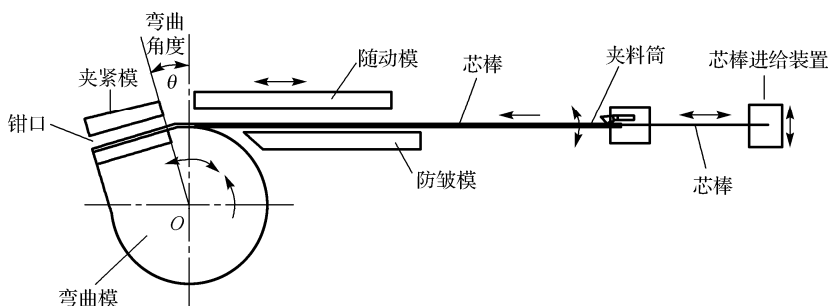


图 5-82 弯管部分动作

弯管模随着主轴转动而转动，管子（芯棒）通过夹紧模贴着弯管模，二者共同配合来实现弯管。

整机的动作过程：接通系统电源后，启动泵站电动机，电磁铁通电，液压泵卸载。手动将管子（芯棒）置入夹料筒的定位块中，压下料夹按钮（脚踏），料夹缸伸出，夹持管件，延时 5s。弯曲缸和助推缸同时工作，助推缸对工件施加顶锻力，在达到弯曲角度前  $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$  时，弯曲缸慢速伸出。当弯管达到弯曲角度时，主夹缸和导夹缸分别后退到原位，同时弯曲缸后退到原位，完成一弯。手动将装料小车送到下一弯曲位置，并转过一个所需的空问角度，压下自动启动按钮，又重复下一弯，直至最后一弯完成，液压泵卸载，人工卸管，完成一根管的三维多弯。

#### 5) 其他

由于弯管、夹紧、助推三个动作的速度和力量是影响管件质量的重要因素，因此，在液压系统中，夹紧缸、助推缸、弯曲缸均采用液控单向阀锁紧，可减少压力的损失，确保弯管过程中弯曲、夹紧、压料动作的可靠性。

为满足不同的弯管工艺，弯曲缸、助推缸和夹紧缸都采用了回油节流调速回路，使系统速度可调、工作速度平稳、无冲击、速度负载特性好。其中，弯曲缸设置了二次节流调速回路，在达到弯曲角度前  $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$  时，采用慢速弯管，使最终达到的弯曲角度与设定弯曲角度十分接近。

电气控制系统采用 PLC 和触摸屏，可大大提高系统的可靠性和柔性，同时使设备操作维护更方便。PLC 控制软件设计数控弯管机有手动、半自动两种工作方式。手动工作方式

主要用于系统的调整（包括模具、弯曲速度、弯曲力及其相互之间的匹配等）及设备排查故障、维修，通过触摸屏控制各按钮，使各工序单独工作。半自动工作方式是机床正常工作状态，在加工前必须调整好每一弯的弯曲位置和空间倾转角度，在触摸屏中设置好每一弯的弯形参数（如弯曲角度、夹模夹持时间、慢速弯管角度等），完成有/无进芯、有/无慢退芯功能选择等。

触摸屏界面设计首先在计算机上应用触摸屏工具软件，根据生产工艺的控制要求进行界面设计，并做好相关设定，再进行编译，在计算机与触摸屏正确通信后下载给触摸屏。触摸屏界面设计有初始界面、手动模式、半自动模式角度编辑、多角度模式和故障报警等界面。手动模式界面主要有手动操作设备的各按钮（有液压泵启停、主模和导模的夹紧/松开、夹料/松料、进芯/退芯、弯管/退弯等）及其相关显示；半自动模式界面主要用于完成一弯的半自动操作及其显示；角度编辑界面主要用于设置弯管的一组参数（包括弯管总数、弯曲轴的 8 种角度及每一弯的弯形参数）；多角度模式界面主要用于半自动多弯加工过程中的控制与实时监控。另外还设计有电动机过载、弯曲角度超程、接近限位开关故障等报警界面，当出现故障时，触摸屏转入报警界面，显示故障信息，以利于故障处理。

### 5.4.2 气动技术在数控机床中的应用

现代机床工业的主流产品是数控机床。数控机床是集机械、电气、液压、气动等多种技术的一体化加工设备，具有高效率、高精度、高自动化和高柔性的特点，并正向智能化、集成化方向发展，是当代机械制造业的基础和核心。

气动技术（气压传动与控制技术）是生产过程自动化和机械化的最有效手段之一，具有高速高效、安全长寿、低成本、易维护、防过载等优点，因此，在工业部门的多个领域中，得到广泛的应用。在数控机床中，气动技术的应用主要如下。

① 机床部件的移动，主要用于进给运动传动，如主轴、工作台的移动等。

② 机床的辅助装置，如固定循环、自动换刀、工作台的夹紧/松开、自动门的开合、吹气、工件夹紧、工件的自动上、下料、搬送堆放等处，可以缩短加工辅助时间，减轻工人劳动强度，充分发挥数控设备的高效性能。

③ 自动吹屑，如工件、交换工作台、工具定位面等处。

④ 运动部件的平衡，如主轴箱的重力平衡、机械手、刀库的平衡装置等。

⑤ 检测功能，如工件位置的确认、刀具缺损的确认等。

下面介绍气动技术在数控机床中的一种应用——数控加工中心气动换刀系统。

数控加工中心是具有刀库和自动换刀装置的高效自动化数控机床；而加工中心自动换刀装置大部分均采用了气动换刀系统，由气压来控制气动机械手。

自动换刀系统是数控加工中心的重要组成部分，因为在加工的过程中需做加工刀具的交换工作，是一件比较困难且危险的事情，而采用自动换刀系统则避免了这种危险。因此，在高速高效、缩短加工辅助时间、减轻劳动强度的数控加工中心，气动技术起到了关键作用。

如图 5-83 所示为立式数控加工中心。

自动换刀系统由刀库和刀具交换装置组成。



图 5-83 立式数控加工中心

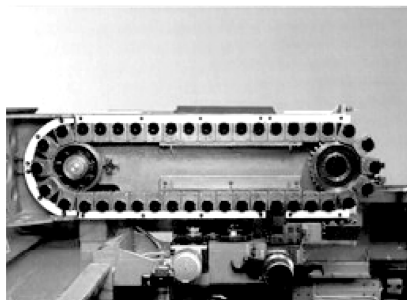
### 1) 刀库

在自动换刀系统中刀库是最主要的部件之一；刀库可以存放数量较多的刀具，在进行复杂零件的多工步加工中，通过快速换刀，可明显提高数控加工中心的适应性和加工效率，还能满足各种精密加工的要求。由于多数加工中心取、送刀具都是在刀库中某一固定刀位实现的，因此刀库还需要有使刀具运动的机构来保证每一把刀具能够到达换刀位置。根据刀库容量和取刀方式，可以将刀库设计成各种形式，常用的到库形式有盘式刀库、链式刀库等。

如图 5-84 所示为常用的刀库。



(a) 盘式刀库



(b) 链式刀库

图 5-84 常用的刀库

#### (1) 盘式刀库。

特点：结构简单，应用较多，但其刀具环形排列，空间利用率低，受刀盘尺寸限制，刀库容量较小，通常容量为 15~32 把刀。也可将刀具在刀盘中采用双环或多环排列，以增加空间利用率，存放更多刀具。但这样做会使刀库的外径过大，转动惯量也很大，选刀的时间很长，因此盘式刀库一般用于刀具容量较小的数控机床。

#### (2) 链式刀库。

特点：结构紧凑，灵活性好，刀库容量较大，选刀和取刀座简单，适用于刀库容量较大的场合，且多为轴向取刀。一般当刀库数量为 30~120 把时，多采用链式刀库。

## 2) 刀具交换装置

在自动换刀系统中, 用来实现刀库与机床主轴之间传递和装卸刀具的装置称为刀具交换装置。刀具的交换方式通常分为采用机械手进行刀具交换或由刀库与机床主轴的相对运动实现无机械手刀具交换等。采用气动机械手进行刀具交换的方式在加工中心中应用最为普遍, 这是由于气动技术具有电动、液压等不可比拟的优越性, 可具有很大的灵活性和减少换刀时间等特点。

在刀具交换装置中, 对气动机械手的具体要求是动作迅速可靠、准确协调。由于不同的加工中心的刀库与主轴的相对位置不同, 所以各种加工中心所使用的换刀机械手也不尽相同, 但从机械手臂的类型来看, 有单臂和双臂机械手等。单臂机械手能够迅速完成抓刀-拔刀-回转-插刀-返回等一系列动作; 而双臂回转机械手的动作则比较简单, 能够同时抓取和卸装机床主轴和刀库中的刀具, 可进一步缩短可换刀时间。为了防止刀具滑落, 各机械手的手抓都带有自锁机构。

## 3) 结构和工作过程

立式加工中心结构示意图如图 5-85 所示。

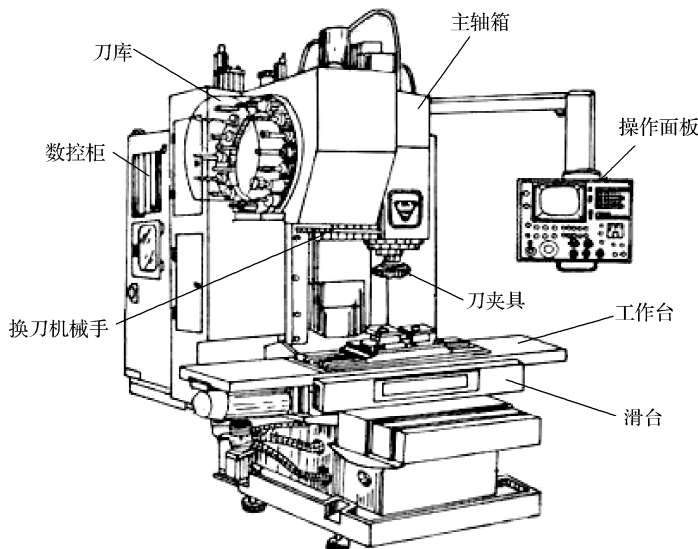


图 5-85 立式加工中心结构示意图

从图可见, 具有盘式刀库和换刀机械手。盘式刀库能存储 16 把刀具, 换刀机械手位于主轴和刀库之间。当需要换刀时, 数控系统发出换刀指令, 气动换刀系统在刀库中通过气动机械手自动进行刀具选择及交换, 完成主轴松刀、夹刀等动作。其中, 定位气缸完成主轴的定位, 刀具松夹气缸完成刀具的松开与夹紧, 刀具插拔气缸完成主轴的插刀等任务。

气动换刀系统原理图如图 5-86 所示。

工作循环过程: 当需要换刀时, 控制系统发出指令, 主轴停止旋转。

### 1) 主轴定位

电磁换向阀 4YA 通电使换向阀 4 换至右位, 压缩空气经气动三联件 (空气过滤器、减压阀和油雾器) 1、换向阀 4 右位、单向节流阀 5 进入定位气缸 A 的右腔, 迫使活塞向左移动, 活塞杆伸出使主轴实现定位。

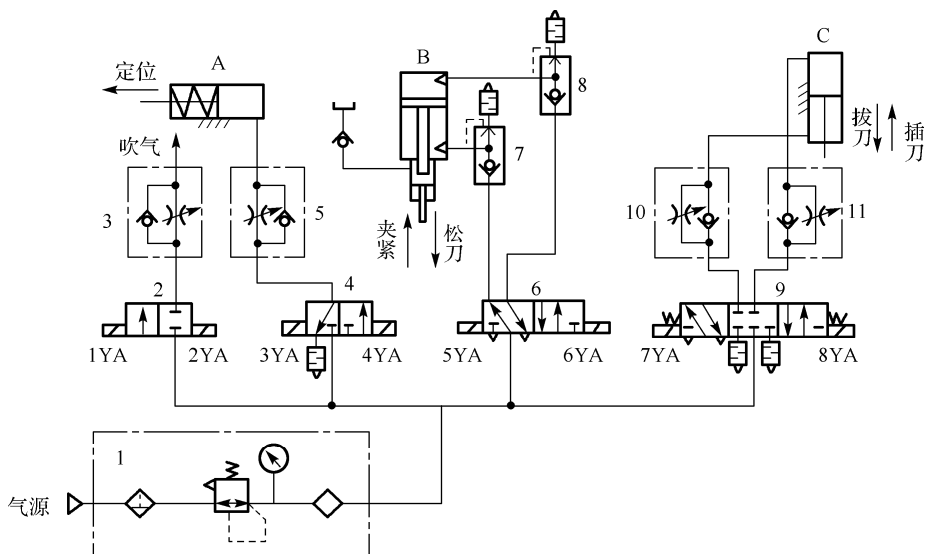


图 5-86 气动换刀系统原理图

## 2) 主轴松刀

定位后，压下触点开关（行程开关），电磁换向阀 6YA 通电使换向阀 6 换至右位，压缩空气又经换向阀 6、快速排气阀 8 进入气液增压器（松夹气缸）B 的上腔，气缸内的活塞下行，下腔通过快速排气阀 7 排气而使增压腔油压上升。当增压腔油压升高后，增压活塞杆向外伸出，实现主轴松刀。

## 3) 拔刀

在松刀的同时，电磁换向阀 8YA 通电使换向阀 9 换至右位，压缩空气又经换向阀 9、单向节流阀 11 进入插拔气缸 C 的上腔，使气缸内的活塞下行，其活塞杆向下移动，拔去刀具并通过回转刀库换刀。

## 4) 吹气

电磁换向阀 1YA 通电使换向阀 2 换至左位，压缩空气经换向阀 2、单向节流阀 3 向主轴插刀锥孔吹气。

## 5) 插刀

延时后，电磁换向阀 1YA 断电、2YA 通电，停止吹气。同时，电磁换向阀 8YA 断电、7YA 通电，使换向阀 9 切换至左位，压缩空气经换向阀 9 左位、单向节流阀 10 进入插拔气缸 C 的下腔，活塞退回，其活塞杆上移，完成主轴插刀。

## 6) 夹紧

电磁换向阀 6YA 断电、5YA 通电，压缩空气经换向阀 6 左位，进入气液增压器（松夹气缸）B 下腔，使其活塞退回，完成刀具夹紧。

## 7) 复位

电磁换向阀 4YA 断电、3YA 通电，定位气缸 A 在弹簧力的作用下复位退回，回到初始状态，换刀结束。

加工中心气动换刀系统中电磁阀、气缸及其活塞等元件的动作顺序见表 5-2。

表 5-2 电磁阀、气缸及其活塞等元件的动作顺序表

动 作	电磁阀线圈元件								气 缸
	1YA	2YA	3YA	4YA	5YA	6YA	7YA	8YA	
主轴定位			-	+					定位缸 A 活塞伸出
松开刀具			-	+	-	+			松夹气缸 B 活塞伸出
主轴拔刀			-	+	-	+	-	+	插拔气缸 C 活塞伸出
主轴吹气	+	-	-	+	-	+	-	+	插刀锥孔吹气
停止吹气	-	+	-	+	-	+	-	+	插刀锥孔停止吹气
主轴插刀	-	+	-	+	-	+	+	-	插拔气缸 C 活塞退回
刀具夹紧	-	+	-	+	+	-	+	-	松夹气缸 B 活塞退回
主轴复位	-	+	+	-	+	-	+	-	定位缸 A 活塞退回

注：“+”表示通电，“-”表示断电。

## 训练项目 9：参观数控设备或数控机床

### 1. 训练目的

通过参观，详细了解数控技术及其系统、液压技术及其系统、气动技术及其系统在社会生产中的应用，并进一步理解、掌握各自的特点、基本结构及其发展的过程等；理解数控技术及其系统、液压技术及其系统、气动技术及其系统在实际生产及先进设备中的相互联系、作用。

### 2. 训练内容

到有关的生产企业参观数控技术及其系统、液压技术及其系统、气动技术及其系统的相关设备，主要了解数控技术及其系统、液压技术及其系统、气动技术及其系统的应用。

#### 【例 5-4】数控液压机或数控弯管机

数控液压机现场如图 5-87 所示，数控弯管机现场如图 5-88 所示。



图 5-87 数控液压机现场



图 5-88 数控弯管机现场





### 3. 注意事项

- (1) 参观前应进行安全教育。
- (2) 组织参观要做好细致的工作，如事先了解现场环境，安排参观位置等。以保证安全、不影响生产为前提，以确保教学效果为原则。
- (3) 努力提高理论联系实际的能力，了解知识在实际生产、生活中的应用，虚心向有实践经验的工人和技术人员学习。

### 4. 思考

- (1) 列出本次参观的数控设备的工艺流程。
- (2) 比较本次参观的各种数控设备的控制技术。
- (3) 对本次参观的认识、收获。



## 本章小结

- 数控技术是指采用数字信号对设备的运行及其加工过程进行控制的一种自动化技术；采用数控技术的控制系统称为数控系统。
- 数控系统的最基本组成：数控装置、伺服驱动装置和位置测量装置。
- 数控装置的作用是将输入的数据，通过编译、运算和处理，再输出信息和指令，以控制设备（或机床）。数控装置是由计算机硬件和软件构成的专用计算机，即 CNC 装置。
- 伺服驱动装置的作用是将数控装置输出的指令信号放大，再驱动机械（相关设备）使其按要求运动；伺服驱动装置由伺服放大器和执行机构（电动式、液压式和气动式）等部分组成。
- 位置测量装置的作用是检测运动的方向、位置、速度等，并反馈到数控装置和伺服驱动系统，以修正控制指令；位置测量装置是指各类传感器。
- 数控系统（技术）的发展趋势应是高速、高精加工、高可靠性、智能化、网络化等方向。
- 液压控制技术是以液体为工作介质，实现能量传递、转换、分配及控制的一门技术。
- 液压系统由动力元件（液压泵、油泵）、控制元件（各种阀）、执行元件（液压缸、油缸或液压电动机）、辅助装置（油箱、滤油器、油管）和工作介质（液压油）5个部分组成。
- 液压动力元件起着向系统提供动力源的作用，其性能的好坏直接影响整个液压系统工作的稳定性和可靠性。动力元件通常采用容积式液压泵，是依靠密封容积变化的原理来进行工作的液压泵。
- 液压控制元件在液压系统中起到控制和调节油液的压力、流量和方向的作用；控制元件是指各种液压阀，即压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀等。
- 液压执行元件起到将液压能变换为机械能，从而驱动负载做直线往复运动或回转（旋转）运动的作用；执行元件包括液压缸和液压电动机两大类。

- 液压辅助元部件（装置）包括油箱、过滤器、蓄能器、管件、密封装置、压力表及其开关、热交换器等，是液压系统不可缺少的部分，其性能对系统的工作稳定性、可靠性、寿命等工作性能的优劣都有直接影响。
- 工作介质起到传动、润滑、密封、冷却、防锈、传送信号和吸收冲击等作用，主要是指液压油、乳化液，并包括各类矿物油、合成形液压油和乳化液等。
- 气压控制技术以压缩空气为工作介质，完成能量与信号的传递，进而控制和驱动各种机械和设备，是实现生产过程机械化、自动化控制的一门技术。
- 气压控制技术具有独特的能力和特点，因此优于液压、电子、电气控制。
- 气动控制（传动）系统一般由气压发生装置（气源装置）、控制元件（气动控制阀）、执行元件和辅助元件组成。
- 气源装置包括空气压缩机（压缩空气的气压发生装置并提供气源动力）、冷却装置（降温）、排水装置（油水分离器）和储气罐等。
- 气动控制元件与液压控制元件的作用基本相同，只是二者的工作介质和密封程度要求有所不同。
- 气动执行元件是指气缸（实现直线往复运动或往复摆动）和气动电动机（实现回转运动或旋转运动）。
- 气动辅助元件包括空气过滤器、空气干燥器、油雾器、消声器、转换器等。
- 液压与气压都是以有压流体（压力油或压缩空气）为工作介质，来实现各种机械的传动和自动控制的形式，是工业生产中应用广泛的技术。
- 随着计算机技术的发展，液压技术、气动技术、数控技术等互相取长补短、相互渗透、相互补充，大大地提高了工业生产系统的可靠性、柔性。

## 习题 5

### 一、单选题

1. 数控技术是指采用（ ）对设备的运行及加工过程进行控制的一种自动化技术。  
A. 交流信号                  B. 直流信号                  C. 数字化信号                  D. A 和 B
2. CNC是采用（ ）实现数字程序控制的技术。  
A. 机械装置                  B. 机械设备                  C. 计算机                      D. A 和 B
3. （ ）数控系统是指控制工具相对工件从某一位置移到另一个位置之间的精确坐标位置。  
A. 点位控制                  B. 直线控制                  C. 轮廓控制                  D. 旋转控制
4. （ ）数控系统指能够对两个或两个以上坐标方向进行严格控制。  
A. 点位控制                  B. 直线控制                  C. 轮廓控制                  D. 旋转控制
5. （ ）是实现制造过程自动化的基础。  
A. 生产技术                  B. 设计技术                  C. 管理技术                  D. 数控技术
6. 数控装置、（ ）和位置测量装置等部分是数控系统的最基本组成。



- A. 被控装置                  B. 伺服驱动装置                  C. 功率放大装置                  D. A 和 B
7. ( ) 是数控系统的核心。  
A. 数控装置                  B. 伺服驱动装置                  C. 功率放大装置                  D. 执行机构
8. 执行机构或设备主要有 ( ) 等类型。  
A. 电动式                  B. 液压式                  C. 气动式                  D. A、B、C
9. 数控系统是 ( ) 控制系统。  
A. 开环                  B. 闭环                  C. 不稳定                  D. 没有反馈
10. ( ) 的作用是检测机械的直线和回转运动的方向、位置、速度等。  
A. 数控装置                  B. 伺服驱动装置  
C. 功率放大装置                  D. 位置测量装置
11. 液压控制以 ( ) 为工作介质。  
A. 电气量                  B. 气体                  C. 液体                  D. 电流
12. ( ) 的作用是供给液压系统压力油, 将机械能转换成液压能。  
A. 液压泵                  B. 液压缸                  C. 液压电动机                  D. 油液
13. ( ) 的作用是将液压能转换成机械能而带动工作部件运动。  
A. 液压泵                  B. 液压缸                  C. 换向阀                  D. 油液
14. ( ) 起传递能量的作用。  
A. 液压泵                  B. 液压缸                  C. 换向阀                  D. 油液
15. ( ) 的性能好坏直接影响整个液压系统工作的稳定性和可靠性。  
A. 动力元件                  B. 控制元件                  C. 执行元件                  D. 辅助部件
16. 液压泵的吸油腔压力取决于 ( )。  
A. 吸油高度                  B. 吸油管路的阻力                  C. 吸油流量                  D. A 和 B
17. 液压泵的实际输出流量随排油压力的升高而 ( )。  
A. 上升                  B. 不稳定                  C. 降低                  D. A 和 B
18. ( ) 在液压系统中起控制和调节油液的压力、流量和方向的作用。  
A. 液压阀                  B. 减压阀                  C. 流量阀                  D. 溢流阀
19. 当系统压力增大时, 会使 ( ) 自动开启, 确保泵出口压力恒定。  
A. 液压阀                  B. 减压阀                  C. 流量阀                  D. 溢流阀
20. ( ) 通过改变阀的通流面积来调节流量。  
A. 减压阀                  B. 节流阀                  C. 流量阀                  D. 溢流阀
21. ( ) 用于改变不同管路间的通、断关系。  
A. 调整阀                  B. 分流阀                  C. 单向阀                  D. 换向阀
22. ( ) 通过过滤油液中的杂质或从油液中清除固体污染物来确保液压元件及系统不受污染物的侵袭。  
A. 油箱                  B. 蓄能器                  C. 过滤器                  D. 密封装置
23. 气动以 ( ) 为工作介质来传递动力和控制信号。  
A. 电气量                  B. 油液                  C. 液体                  D. 压缩空气
24. 在相同输出力的情况下, 气动装置与液压装置尺寸 ( )。  
A. 要小                  B. 要大                  C. 相等                  D. 相同

25. 典型的气动控制系统通常由（ ）和辅助元件等组成。  
A. 控制元件                      B. 执行元件                      C. 气压发生装置                      D. A、B、C
26. （ ）用来控制压缩空气的压力、流量和流动方向。  
A. 控制元件                      B. 执行元件                      C. 气压发生装置                      D. 辅助元件
27. （ ）将压缩空气的压力能转变为机械能，用来驱动工作部件。  
A. 控制元件                      B. 执行元件                      C. 气压发生装置                      D. 辅助元件
28. 油水分离器通常安装在（ ）。  
A. 冷却器进气管道                      B. 冷却器出气管道  
C. 干燥器进气管道                      D. 干燥器出气管道
29. 对气缸运动速度、信号延迟时间、油雾器的滴油量、缓冲气缸缓冲强弱等控制都是依靠（ ）来实现的。  
A. 压力控制元件                      B. 方向控制元件  
C. 流量控制元件                      D. A 或 B
30. 在空气进入压缩机之前，必须经过（ ）。  
A. 空气过滤器                      B. 油水分离器                      C. 干燥器                      D. 冷却器
31. （ ）的作用是将压缩空气的气信号转变成电信号。  
A. 气-电转换器                      B. 电-气转换器  
C. 气-液等转换器                      D. 液-气转换器

## 二、判断题

1. 数控技术是指用数字化信号对设备的运行及加工过程进行控制的一种自动化技术。 ( )
2. 数控技术是采用数字指令来实现一台或多台机械设备动作的控制技术。 ( )
3. CNC用计算机按事先存储的控制程序来执行对设备的控制。 ( )
4. 点位控制数控系统控制点与点的精确位置且移动轨迹为直线。 ( )
5. 数控技术是自动化柔性系统的核心。 ( )
6. 功率放大装置的作用是将数控装置输出的指令信号放大，再直接驱动机械按要求运动。 ( )
7. 整个 CNC 装置的工作均依靠系统硬件来指挥。 ( )
8. 数控系统是具有反馈的闭环控制系统。 ( )
9. 液压技术是一个不同能量之间转换、传递过程的技术。 ( )
10. 液压传动的优点之一是功耗重量比大。 ( )
11. 由于工作介质采用油液，因此液压传动运转平稳，且易于散热。( )
12. 在传递过程中存在机械摩擦损失、压力损失等使液压传动效率较低。 ( )
13. 执行元件的性能好坏将直接影响整个液压系统工作的稳定性和可靠性。 ( )
14. 液压泵是一种能量转换装置或设备。 ( )
15. 液压泵依靠开启容积变化的原理来进行工作。 ( )
16. 若液压泵的吸油高度过高，会使吸油腔真空度过高，从而影响液压泵的自吸能力。 ( )



17. 若液压泵的吸油管路阻力太大, 则会使吸油腔真空度过低而影响液压泵的自吸能力。( )
18. 液压泵的压油腔压力将取决于外负载和排油管路的压力损失。( )
19. 减压阀在液压系统中起控制和调节油液的压力、流量和方向的作用。( )
20. 当系统压力增大时, 会使减压阀自动开启, 使多余流液溢回油箱, 从而确保泵出口压力恒定。( )
21. 液压电动机可实现直线运动或小于  $360^\circ$  的往复摆动运动。( )
22. 若液压系统靠自然冷却仍不能使油温控制在规定的范围内, 则必须安装加热装置。( )
23. 气动以压缩空气为工作介质来传递动力和控制信号, 进而控制和驱动各种机械和设备。( )
24. 以空气为工作介质应不存在介质的变质、补充和更换等问题。( )
25. 空气具有可压缩性。( )
26. 由于工作压力低, 因此气缸的输出力比液压缸要大, 并伴有较大的排气噪声。( )
27. 执行元件的作用是控制压缩空气的压力、流量和流动方向。( )
28. 气压发生装置将压缩空气的压力能转变为机械能, 用来驱动工作部件。( )
29. 空气油水分离器的作用是分离压缩空气中凝聚的水分和油分等杂质, 使压缩空气得到净化。( )
30. 油水分离器通常安装在冷却器的进气管道。( )
31. 气缸是实现直线往复运动或往复摆动的装置。( )
32. 在空气进入压缩机之前, 必须经过油水分离器。( )
33. 油雾器的作用是使压缩空气具有润滑作用。( )
34. 气-液转换器的作用是将空气压能转换为油压能。( )

### 三、多选题

1. 数控技术控制的是与( )等有关的开关量。  
A. 晶体管      B. 微电子      C. 位置      D. 变电  
E. 角度      F. 信息      G. 速度      H. 电力
2. 数控系统按加工工艺和用途可分为( )等类型。  
A. 点位控制      B. 直线控制      C. 轮廓控制      D. 旋转控制  
E. 磨削      F. 特种加工      G. 铣削      H. 车削
3. 位置测量装置包括( )等。  
A. 位移传感器      B. 速度传感器      C. 位置传感器      D. 温度传感器  
E. 压力传感器      F. 按钮开关      G. 显示器      H. 指示灯
4. 数控系统及其技术的发展趋势应是( )等方向。  
A. 高速度      B. 高可靠性      C. 高选择性      D. 高精加工  
E. 人性化      F. 智能化      G. 网络化      H. 大型化
5. 液压技术具有( )等特点。

- A. 能产生较大的力矩                      B. 可实现无级调速                      C. 低速稳定性好
  - D. 换向容易                                  E. 易于实现过载保护                  F. 传动效率较低
  - G. 调速范围较窄                              H. 油液黏度受温度影响较大
6. 液压系统主要由 (     ) 等组成。
- A. 液压泵                      B. 气缸                      C. 阀门                      D. 动力元件
  - E. 控制元件                  F. 执行元件                  G. 辅助部件                  H. 工作介质
7. 液压泵按结构形式可分为 (     ) 等。
- A. 定量泵                      B. 变量泵                      C. 齿轮泵                      D. 叶片泵
  - E. 柱塞泵                      F. 螺杆泵                      G. 便携泵                      H. 固定泵
8. 液压缸按运动方式可分为 (     ) 等。
- A. 往复运动式                  B. 回转摆动式                  C. 单作用式                  D. 双作用式
  - E. 活塞式                      F. 柱塞式                      G. 摆动式                      H. 组合式
9. 液压缸按受液压力作用情况可分为 (     ) 等。
- A. 往复运动式                  B. 回转摆动式                  C. 单作用式                  D. 双作用式
  - E. 活塞式                      F. 柱塞式                      G. 摆动式                      H. 组合式
10. 液压缸按结构形式可分为 (     ) 等。
- A. 往复运动式                  B. 回转摆动式                  C. 单作用式                  D. 双作用式
  - E. 活塞式                      F. 柱塞式                      G. 摆动式                      H. 组合式
11. 液压辅助元部件包括 (     ) 等。
- A. 油箱                      B. 蓄能器                      C. 管件                      D. 密封装置
  - E. 压力表                      F. 油开关                      G. 热交换器                  H. 过滤器
12. 液压系统的工作介质的作用是 (     ) 等。
- A. 传动                      B. 润滑                      C. 密封                      D. 冷却
  - E. 防锈                      F. 传送信号                      G. 吸收冲击                  H. 防止瓦斯
13. 以压缩空气为工作介质的系统应具有 (     ) 等特点。
- A. 防火                      B. 防爆                      C. 抗振动及冲击                  D. 无辐射
  - E. 防电磁干扰                  F. 无污染                      G. 结构简单                  H. 工作可靠
14. 空压机按工作原理可分为 (     ) 等。
- A. 容积型                      B. 无油型                      C. 低噪声型                      D. 动力型
  - E. 可变频型                      F. 防爆型                      G. 机油润滑型                  H. 热力型
15. 容积型空压机可分为 (     ) 等类型。
- A. 活塞式                      B. 工业式                      C. 家用式                      D. 滑片式
  - E. 涡旋式                      F. 螺杆式                      G. 离心式                      H. 回转式
16. 气动控制元件按功能和用途可分为 (     ) 等。
- A. 换向阀                      B. 逻辑控制阀                      C. 溢流阀                      D. 调压阀
  - E. 单向阀                      F. 压力控制元件                      G. 流量控制元件                  H. 方向控制元件

## 四、分析题

1. 开环控制数控系统的工作过程是输出的进给指令经 (     ) 进行功率放大, 转换为



控制( )各定子绕组以此通电或断电的( )信号,驱动( )转动,再经机床( ) (如齿轮箱、丝杠等)带动( )移动。

- A. 步进电动机    B. 电流脉冲    C. 驱动电路  
D. 工作台    E. 传动机构

2. 液压传动的基本工作原理是在( )内,通过( )将原动机的( )转变为( ),再通过控制( )及( )又将( )转变为( ),以驱动工作机构完成所需要的各种任务。

- A. 液压泵    B. 液压能    C. 机械能    D. 阀门  
E. 密闭容器    F. 液压缸

3. 压力继电器的基本原理是当系统压力达到压力继电器的( )时,液体的( )就启动触发( )闭合,即发出电信号,使其控制的电气元件(如电磁离合器等)( ),从而使( )、换向和执行元件实现顺序动作,或关闭电动机使( )停止工作,起( )作用等。

- A. 设定值    B. 动作    C. 安全保护    D. 电气触点  
E. 油路卸压    F. 压力    G. 系统

4. 单活塞液压缸的工作原理是压力油只供给液压缸的一侧( ),靠液体( )使( )实现单方向运动,而反方向运动则靠外力(如弹簧力、自重、外部载荷)来实现。

- A. 活塞    B. 油腔    C. 压力

5. 气动控制系统的基本原理是利用( )将电动机或其他原动机输出的( )转变为( ),然后在( )的控制和辅助元件的配合下,通过( )将( )转变为( ),从而完成直线或回转运动并对外做功。

- A. 机械能    B. 执行元件    C. 空气压缩机  
D. 控制元件    E. 气压能

6. 吸附式干燥器主要是利用干燥筒内的( )、活性氧化铝、焦炭、分子筛等物质表面( )的特性来吸收和排除压缩空气中的( )和部分油与杂质,使空气变成完全( )。

- A. 硅胶    B. 干燥的空气    C. 水分    D. 能吸附水分

# 第 6 章 工业机器人（手）

## 与自动生产线

### 学习目标

本章主要通过工业机器人（手）与自动生产线实例介绍各种控制技术在实际生产中的综合应用。通过本章的学习，应能掌握各种控制技术在实际生产中的综合应用；并通过训练加深理解、掌握对各种控制技术的使用及有关的规则。

#### 主要内容

- 工业机器人（手）。
- 自动生产线。

### 6.1 工业机器人（手）

工业机器人是机器人学的一个分支，它代表了机电一体化及其产品的最高成就。随着科学技术的不断发展，工业机器人已成为柔性制造系统（FMS）、自动化工厂（FA）、计算机集成制造系统（CIMS）的自动化工具。如图 6-1 所示为一款工业机器人。

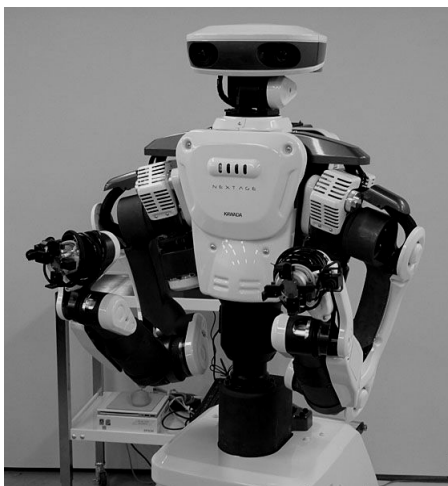


图 6-1 工业机器人





### 6.1.1 概述

#### 1. 概念

机器人(手)是集机械、电子、计算机、传感器、人工智能及控制等多种学科及其先进技术于一体的现代制造业重要的自动化装备,它涉及了机械工程学、电气工程学、微电子工程学、计算机工程学、信息传感工程学、声学工程学、仿生学、人工智能工程学及控制工程学等多门尖端学科。

机器人(Robot)是自动执行工作的机器装置。机器人可接受人类指挥,也可以执行预先编排的程序,还可以根据以人工智能技术制定的原则纲领来行动。机器人执行的是取代或是协助人类工作的工作,如制造业、建筑业,或是危险的工作。如图 6-2 所示为机器人在进行溶剂调配工作。



图 6-2 机器人在进行溶剂调配工作

工业机器人(手)的广泛应用,不仅可提高产品的质量与数量,而且对保障人身安全,改善劳动环境,减轻劳动强度,提高劳动生产率,节约原材料消耗,降低生产成本,以及促进我国制造业的崛起,都有着十分重要的意义。

1978 年,国际标准化组织(ISO)指出:“工业机器人就是拥有能够自动控制的手控功能和移动功能,可以按照程序执行各项作业的机器”。所谓手控功能是指拥有与人类的上肢(手爪、手腕、手臂等)的动做功能相似的各种动做功能。移动功能是指拥有前后、左右、上下等方向的运动功能。

根据国家标准,工业机器人定义为“其操作机是自动控制的,可重复编程、用途多,并可以对 3 个以上轴进行编程,它可以是固定式或者移动式,在工业自动化应用中使用”。因此,工业机器人(手)是面向工业领域的多关节机械手或多自由度的机器装置,它能自动执行工作,是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。它可以接受人类指挥,也可以按照预先编排的程序运行,还可以根据人工智能技术制定的原则纲领来行动。

工业机器人(手)广泛应用于汽车制造、机械加工、电子、能源、建筑及军工和海洋等工业部门,主要从事喷漆、焊接、装配、搬运及一些特殊环境下的工作。如夹持焊钳或焊枪,对汽车或摩托车的车体进行点焊或弧焊;搬运压铸或冲压成形的零件或构件;进行激光切割;喷涂;装配机械零部件等。

如图 6-3 所示为工业机器人（手）对汽车车前框进行喷涂工作。



图 6-3 工业机器人（手）对汽车车前框进行喷涂工作

## 2. 现状及发展趋势

工业机器人是最典型的机电一体化数字化装备，技术附加值很高，应用范围很广，作为先进制造业的支撑技术和信息化社会的新兴产业，将对未来生产和社会发展起着越来越重要的作用。国外专家预测，机器人产业是继汽车、计算机之后出现的一种新的大型高技术产业。

### 1) 发展过程

工业机器人的发展过程可以分为以下三个阶段：

第一代工业机器人为工业生产中大量使用的示教再现型机器人，通过示教，即先通过引导或其他方式教会机器人动作，输入工作程序及存储信息。在工作时再读出这些信息，向执行机构发出指令，执行机构按指令再现示教或自动重复的操作，广泛应用于焊接、上下料、喷漆和搬运等。

第二代工业机器人是带感觉功能的感觉控制型机器人，利用传感器获取的信息，使机器人带有视觉、触觉等功能而动作，从而可以完成检测、装配、环境探测等作业。

第三代工业机器人即智能机器人，它不仅具备感觉功能，而且能根据人的命令，按所处环境自行决策，规划出行动。

在 FMS 系统中，目前应用的为第一代和第二代机器人。

### 2) 我国工业机器人的发展情况

我国工业机器人起步于 20 世纪 70 年代初期。目前，经过多年的发展，我国研制的工业机器人已达到了工业应用水平。工业机器人已在越来越多的领域中得到了应用。在制造业中，尤其是在汽车产业中，工业机器人得到了最为广泛的应用。在毛坯制造（冲压、压铸、锻造等）、机械加工、焊接、热处理、表面涂覆、上下料、装配、检测及仓库堆垛等作业中，机器人已逐步取代了人工作业。随着工业机器人向更深、更广方向的发展及机器人智能化水平的提高，机器人的应用范围还在不断扩大，已从汽车制造业推广到其他制造业，进而推广到诸如采矿机器人、建筑业机器人及水电系统维护维修机器人等各种非制造行业。此外，在国防军事、医疗卫生、生活服务等领域，机器人的应用也越来越多，如无人侦察机（飞行器）、警备机器人、医疗机器人、家政服务机器人等均有应用实例。机器人正在为提高人类的生活质量发挥着重要的



作用。工业机器人在许多生产领域的使用实践证明,它在提高生产自动化水平,提高劳动生产率和产品质量及经济效益,改善工人劳动条件等方面,有着令世人瞩目的作用。

现在,国家更加重视机器人工业的发展,也有越来越多的企业和科研人员投入到机器人的开发研究中。

如图 6-4 所示为工业机器人(手)在医疗方面的应用。

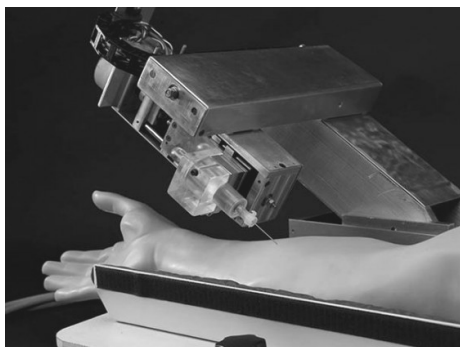


图 6-4 工业机器人(手)在医疗方面的应用

### 3) 发展趋势

从近几年机器人推出的产品来看,工业机器人技术正在向智能化、模块化和系统化的方向发展。其发展趋势主要为:结构的模块化和可重构化;控制技术的开放化、PC 化和网络化;伺服驱动技术的数字化和分散化;多传感器融合技术的实用化;工作环境设计的优化和作业的柔性化,以及系统的网络化和智能化等方面。

智能工业机器人将成为未来的技术制高点和经济增长点,工业机器人技术是先进制造技术的代表,首要任务是提高工业机器人的智能化技术。智能化技术可以提高机器人的工作能力和使用性能。智能化技术的发展将推动机器人技术的进步,未来智能化水平将标志机器人的水平,虽然目前还有很多问题需要解决,但随着科学技术的进步,会逐渐改进发展。未来的智能化方向不会改变,并且会将机器人产品拓展到更多行业,形成完备的系统。

### 3. 特点

工业机器人是一种通过重复编程和自动控制,能够完成制造过程中某些操作任务的多功能、多自由度的机电一体化自动机械装备和系统,它结合制造主机或生产线,可以组成单机或多机自动化系统,在无人参与下,实现搬运、焊接、装配和喷涂等多种生产作业。

如图 6-5 所示为正在生产线上加工操作的工业机器人(手)。

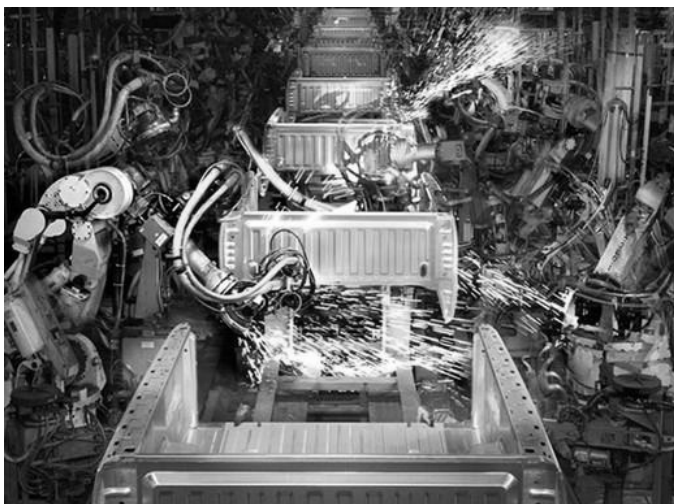


图 6-5 工业机器人(手)在生产线上加工操作

当前,工业机器人技术和产业迅速发展,在生产中的应用日益广泛,已成为现代制造生产中重要的高度自动化装备。

工业机器人最显著的特点有以下几个。

#### 1) 机电一体化

工业机器人技术涉及的学科相当广泛,归纳起来是机电一体化技术(即机械学和微电子学等的结合)。第三代智能机器人不仅具有能够获取外部环境信息的各种传感器,而且还具有记忆能力、语言理解能力、图像识别能力、推理判断能力等人工智能能力,这些都和微电子技术的应用,特别是计算机技术的应用有密切关系。因此,机器人技术的发展必将带动其他技术的发展,机器人技术的发展和应用水平也可以验证一个国家科学技术和工业技术的发展和水平。

#### 2) 可编程

由于生产自动化的进一步发展是柔性自动化,因此,工业机器人可随其工作环境变化的需要而再编程,在小批量、多品种和具有均衡高效率的柔性制造过程中能发挥很好的功用,是柔性制造系统(FMS)中的一个重要组成部分。

#### 3) 拟人化

工业机器人在机械结构上有类似人类及其动作,如行走、腰转、大臂、小臂、手腕、手爪等部分;在控制上有计算机类似人类的分析、判断等能力;此外,智能化工业机器人还有许多类似人类的“生物传感器”,如皮肤型接触传感器、力传感器、负载传感器、视觉传感器、听觉传感器、语言功能等,通过各类传感器大大提高了工业机器人对周围环境的自适应能力。

#### 4) 通用性

除了专用的工业机器人外,一般工业机器人在执行不同的作业任务时具有较好的通用性。如更换工业机器人手部末端操作器(手爪、工具等)便可执行不同的作业任务。

工业机器人正逐渐向着具有行走能力、多种感知能力和较强的对作业环境的自适应能力的方向发展。如:①技术先进。工业机器人集精密化、柔性化、智能化、软件应用开发等先进制造技术于一体,通过对过程实施检测、控制、优化、调度、管理和决策,实现增加产量、提高质量、降低成本、减少资源消耗和环境污染的目的,是工业自动化水平的最高体现。②技术升级。工业机器人与自动化成套装备具备精细制造、精细加工及柔性生产等技术特点,是继动力机械、计算机之后,出现的全面延伸人的体力和智力的新一代生产工具,是实现生产数字化、自动化、网络化及智能化的重要手段。③应用领域广泛。工业机器人与自动化成套装备是生产过程的关键设备,可用于制造、安装、检测、物流等生产环节,并广泛应用于汽车整车及汽车零部件、工程机械、轨道交通、低压电器、电力、IC装备、军工、烟草、金融、医药、冶金及印刷出版等众多行业,应用领域非常广泛。④技术综合性强。工业机器人与自动化成套技术集中并融合了多项学科,涉及多项技术领域,包括工业机器人控制技术、机器人动力学及仿真、机器人构建有限元分析、激光加工技术、模块化程序设计、智能测量、建模加工一体化、工厂自动化及精细物流等先进制造技术,技术综合性强。

### 6.1.2 工业机器人分类

工业机器人目前还没有统一的分类标准,因此,根据不同的要求、方式有不同的类型。



## 1. 按机器人研究、开发和实用化的进程

### 1) 第一代工业机器人

第一代工业机器人具有示教再现功能,或具有可编程的 NC 装置,但对外部信息不具备反馈能力。

### 2) 第二代工业机器人

第二代工业机器人不仅具有内部传感器而且具有外部传感器,能获取外部环境信息;不具备应用人工智能技术,但是机器人能与环境交互,具有在线自适应能力。如机器人从运动着的传送带上送来的零件中抓取零件并送到加工设备或输送带上。因为送来的每一个零件具体位置和姿态是随意的、不同的,所以要完成上述作业必须获取被抓取零件状态的在线信息。如图 6-6 所示为工业机器人(手)抓取和运送货物工作。

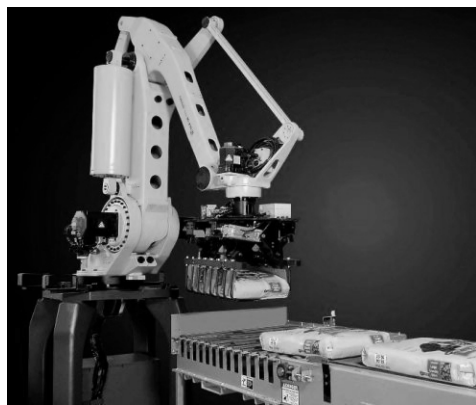


图 6-6 工业机器人(手)抓取和运送货物工作

### 3) 第三代工业机器人

第三代工业机器人具有多种智能传感器,能感知和领会外部环境信息,包括具有理解像人下达的语言指令这样的能力;能进行学习,具有决策上的自治能力等。

## 2. 按结构形式

如图 6-7 所示为工业机器人的基本结构形式。

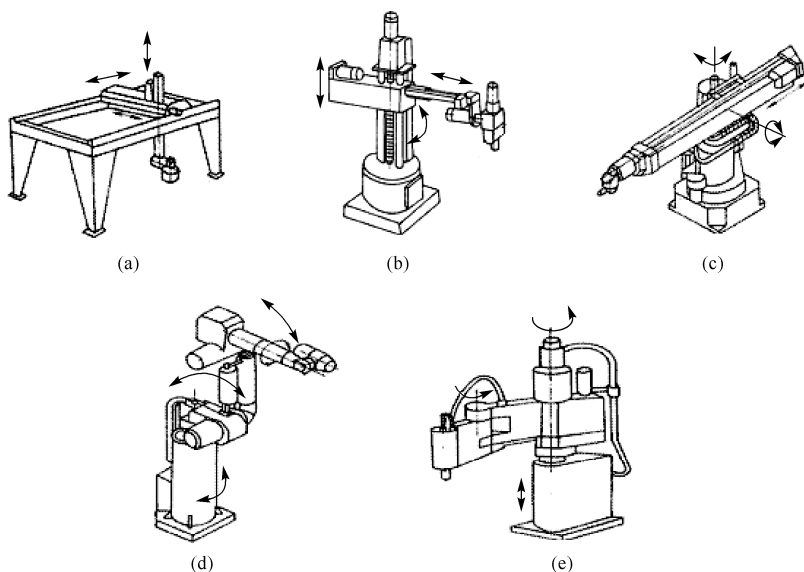


图 6-7 工业机器人的基本结构形式

### 1) 直角坐标型机器人

直角坐标型机器人具有 3 个移动关节,如图 6-7(a)所示,使手臂部可沿直角坐标系的 3 个坐标轴做直线移动。

### 2) 圆柱坐标型机器人

圆柱坐标型机器人具有一个转动关节和两个移动关节,如图 6-7 (b) 所示。手臂部可做升降、回转和伸缩动作,构成圆柱形状的工作范围。

### 3) 球坐标型机器人

球坐标型机器人具有两个转动关节和一个移动关节,如图 6-7 (c) 所示。手臂部能回转、俯仰和伸缩,构成球状的工作范围。

### 4) 关节坐标型机器人

关节坐标型机器人具有 3 个或多个转动关节,其中两个关节轴线是平行的,如图 6-7 (d) 所示。它的转动关节可构成较为复杂形状的工作范围。

### 5) 平面关节型机器人

平面关节型机器人可以看成是关节坐标型机器人的特例,它只有平行的肩关节和肘关节,关节轴线共面,如图 6-7 (e) 所示。它是一种装配机器人,在垂直平面内具有很好的刚度,在水平面内具有较好的柔顺性,故在装配作业中能获得良好的应用。

## 3. 按执行机构运动的控制机能

### 1) 点位型机器人

点位型机器人只控制执行机构由一点到另一点的准确定位,因此只适用于机床上下料、点焊和一般搬运、装卸等作业。

### 2) 连续轨迹型机器人

连续轨迹型机器人可控制执行机构按给定的轨迹运动,因此适用于连续焊接和涂装等作业。

## 4. 按程序输入方式

### 1) 编程输入型机器人

编程输入型机器人将计算机上已编好的作业程序文件,通过 RS232 串口或者以太网等通信方式传送到机器人的控制柜。

### 2) 示教输入型机器人

示教方式如下。

(1) 由操作者使用手动控制器(示教操纵盒)将指令信号传给驱动系统,使执行机构按要求的动作顺序和运动轨迹操演一遍。

(2) 由操作者直接操作执行机构,按要求的动作顺序和运动轨迹操演一遍。

在示教过程的同时,工作程序的信息自动存入程序存储器中。在机器人自动工作时,控制系统从程序存储器中检出相应信息,将指令信号传给驱动机构,使执行机构再现示教的各种动作。因此,示教输入程序的工业机器人又称为示教再现型工业机器人。

## 5. 按驱动方式

### 1) 液压驱动式机器人

液压驱动式机器人的驱动系统由液压控制(传动)系统构成。它具有很大的抓举能力(高达几百公斤以上),结构紧凑,动作平稳,耐冲击、耐振动,防爆性好;但液压元件要求有较高的制造精度和密封性能,否则会漏油,将污染环境。



### 2) 气压驱动式机器人

气压驱动式机器人的驱动系统由气动控制(传动)系统构成。其特点是气源方便、动作迅速、结构简单、造价较低、维修方便;但难以进行速度控制,气压不可太高,故抓举能力较低。

### 3) 电气驱动式机器人

电气驱动式机器人的特点是电源方便,响应快,驱动力较大(关节型的持重已达400kg),信号检测、传递、处理方便,并可以采用多种灵活的控制方案。驱动电动机一般采用步进电动机、直流伺服电动机及交流伺服电动机。由于电动机速度较高,因此通常采用减速机构(如谐波传动、RV传动、齿轮传动、螺旋传动和多杆式机构等)。目前,有些机器人已开始采用无减速机构的大转矩、低转速的电动机进行直接驱动(DD),既可以使机构简化,又可以提高控制精度。

3种主要驱动方式的比较见表6-1。

表 6-1 3种主要驱动方式的比较

	液 压 驱 动	气 压 驱 动	电 气 驱 动	
			交、直流电动机	伺服、步进电动机
输出力	大	小	大	小
控制性能	可无级调速,反应灵敏	气体压缩性大,精确定位困难,阻尼效果差,低速不易控制	控制性能较差,惯性大,不易精确定位	控制性能好,能精确定位,但控制系统复杂
体积	输出力相同时体积小	较大	要有减速装置,所以体积大	较小
维修及使用	方便,但油液对环境温度有一定的要求	方便	方便	较复杂
对环境的影响	易漏油及易燃	排气及噪声	无	无
应用范围	适用于重型、低速驱动	适用于中、小型快速驱动	适用于抓重、大而速度低的中、重型机器人	可用于要求严格控制运动轨迹的中、小型机器人
成本	液压元件成本高	成本低	成本低	成本较高

## 6. 按用途

### 1) 搬运机器人

搬运机器人用途很广,一般只需点位控制,即被搬运零件无严格的运动轨迹要求,只要求始点和终点位姿准确。如机床上用的上下料机器人、工件堆垛机器人等。

如图6-8所示为堆垛机器人正在堆垛作业。

### 2) 喷涂机器人

喷涂机器人多用于喷漆生产线上,重复位姿精度要求不高。但由于漆雾易燃,因此一般采用液压驱动或交流伺服电动机驱动。

如图6-9所示为喷涂机器人在喷涂作业。

### 3) 焊接机器人

焊接机器人具有性能稳定、工作空间大、运动速度快和负荷能力强等特点,焊接质量明显优于人工焊接,大大提高了点焊作业的生产率。它也是目前使用最多的一类机器人,可分为点焊和弧焊两类。焊接工业机器人可装备各类焊枪进行焊接工作。焊接工业机器人如图6-10所示。



图 6-8 堆垛机器人



图 6-9 喷涂机器人

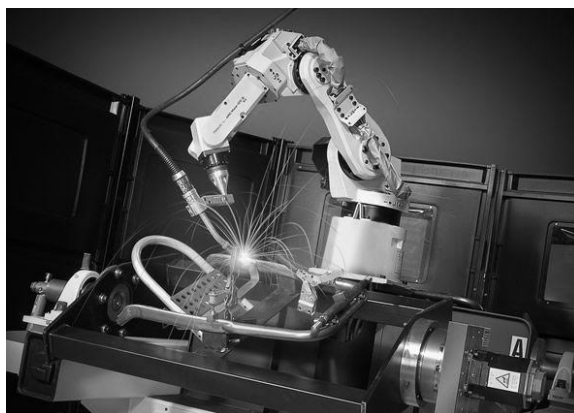


图 6-10 焊接工业机器人

#### 4) 装配机器人

装配机器人要有较高的位姿精度，手腕具有较大的柔性，目前大多用于产品的装配作业。如图 6-11 所示为装配机器人在汽车车身的装配工作。



图 6-11 装配机器人





### 5) 热切割机器人

热切割机器人用于实现 H 形钢、T 形钢、角钢、槽钢等型材数控热切割的全自动生产线等。

热切割机器人如图 6-12 所示。



图 6-12 热切割机器人

### 6) 专门用途的机器人

如雕刻机器人(如图 6-13 所示)、医用护理机器人、航天用机器人、探海用机器人及排险作业机器人等。

## 7. 按自由度数量

操作机器人本身的轴数(称为自由度)可反映机器人有多少个方向能够独立自由移动的工作能力和工作范围,也是分类的重要依据。按这一分类要求,机器人可分为 4 轴(自由度)、5 轴(自由度)、6 轴(自由度)、7 轴(自由度)等机器人。工业机械人通常有 2~10 轴(自由度),但大多数的自由度为 5~6 轴(自由度)。

如图 6-14 所示为 6 轴机器人。

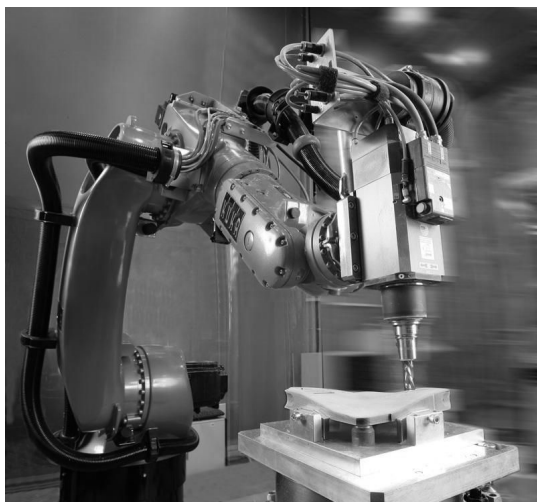


图 6-13 雕刻机器人

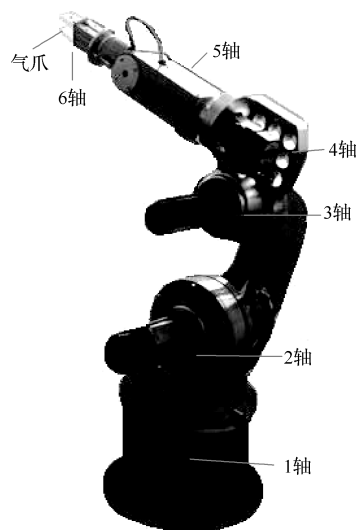


图 6-14 6 轴机器人

### 6.1.3 工业机器人的组成

工业机器人系统由 3 大部分 6 个子系统组成（如图 6-15 所示）。3 大部分分别是机械部分、传感部分、控制部分。6 个子系统分别是驱动系统、机械结构系统、感受系统、机器人-环境交互系统、人机交互系统、控制系统。

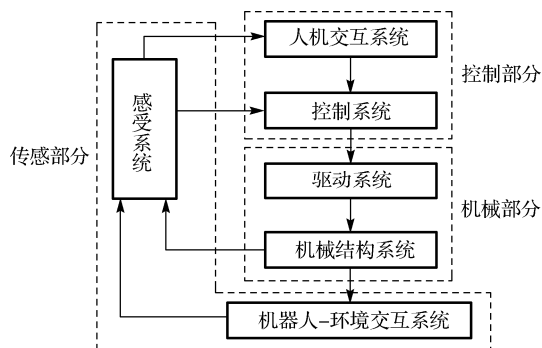


图 6-15 工业机器人的基本组成框图

#### 1. 驱动系统

驱动系统是指使机器人运行起来时需给各个关节即每个运动自由度安置的传动装置。因此，驱动系统是提供机器人各部位、各关节动作的原动力。

驱动系统包括动力装置和传动机构，并常和执行机构连成一体，用以使执行机构产生相应的或指定的动作。

常用的驱动系统有机械式、液压式、气动式、电动式等不同的驱动形式，或者把它们结合起来应用的综合系统；可以直接驱动或者通过同步带、链条、轮系、谐波齿轮等机械传动机构进行间接驱动。

工业机器人对驱动系统的要求：

- (1) 应具有足够的输出力矩和功率，以满足各种条件下的工作需要。
- (2) 能够进行频繁的启动、制动和正、反转切换等重复运行。
- (3) 能够灵活方便地接收控制器的控制指令，实现转矩、速度及位置控制。
- (4) 应具有良好的稳定性，并能对控制命令进行快速响应。
- (5) 运动部件的惯性要尽量小。
- (6) 从整体上要求装置的体积小、质量轻。
- (7) 便于维护。

#### 2. 机械结构系统

工业机器人的机械结构系统是工业机器人的执行机构（又称操作机），是一种具有和人的手、脚相似动作功能的机械装置，也是完成各种运动的机械部件。

机械结构系统的外形如图 6-16 所示。

机械结构系统由杆件（骨骼）和连接它们的运动副（关节）构成，具有多个自由度，通常由手部、腕部、臂部和基座（机身）等部件组成，其系统结构如图 6-17 所示。



图 6-16 机械结构系统的外形

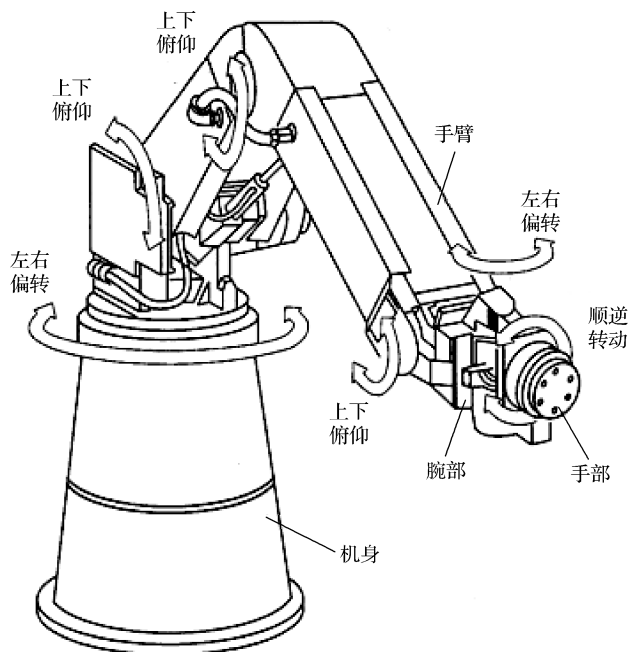


图 6-17 工业机器人机械结构系统

### 1) 手部

手部又称为末端执行器或夹持器,是工业机器人对目标直接进行操作的部分,在手臂可安装专用的工具,如焊枪、喷枪、电钻、电动螺钉(母)拧紧器等。工业机器人手部有机械夹持式、真空吸附式、磁性吸附式等不同的结构形式。

### 2) 腕部

腕部是连接手部和手臂的部分,主要功能是调整手部的姿态和方位。通常具有 1~3 个运动自由度。

### 3) 臂部

臂部用以连接机身和腕部,是支撑腕部和手部的部件,由动力关节和连杆组成,用以承受工件或工具的负荷,改变工件或工具的空间位置,并将它们送至预定位置。臂部的运动范围决定机器人作业的空间。

### 4) 基座(机身)

基座(机身)是整个机器人的支撑部分,如同机床的床身结构一样,构成机器人的基础,起到连接和支撑的作用,控制机器人的活动范围和改变机器人的位置。基座(机身)分为固定式和移动式(带行走机构)两种。

## 3. 感受系统

感受系统实时检测机器人的运动及工作情况,根据需要反馈给控制系统,与设定信息进行比较后,对执行机构进行调整,以保证机器人的动作符合预定的要求。感受系统由内部传感器模块和外部传感器模块组成。

### 1) 内部传感器

内部传感器用于检测机器人各部分的内部状况,如各关节的位置、速度、加速度等,

并将所测得的信息作为反馈信号送至控制器，形成闭环控制，如用于测定手腕位置和速度等的内置传感器。

### 2) 外部传感器

外部传感器用于获取有关机器人的作业对象及外界环境等方面的信息，如用于轻轻抓取物体以免其受损伤的压力检测传感器等。它能使机器人的动作适应外界情况的变化，使之达到更高层次的自动化，甚至使机器人具有某种“感觉”，向智能化发展。如视觉、听觉等外部传感器给出工作对象、工作环境的有关信息，利用这些信息构成一个大的反馈回路，从而大大提高机器人的机动性、适应性和智能化等。

## 4. 机器人-环境交互系统

机器人-环境交互系统是实现工业机器人与外部环境中的设备相互联系和协调的系统。

工业机器人与外部设备集成为一个功能单元，如加工制造单元、焊接单元、装配单元等；也可以是多台机器人、多台机床或设备、多个零件存储装置等集成为一个执行复杂任务的功能单元。

## 5. 人机交互系统

人机交互系统是使操作人员参与机器人控制，并与机器人进行联系的装置。

该系统归纳起来分为两大类：指令给定装置（如编程器等）和信息显示装置（如显示屏、指示灯等）。

如图 6-18 所示为控制柜中的人机交互系统。

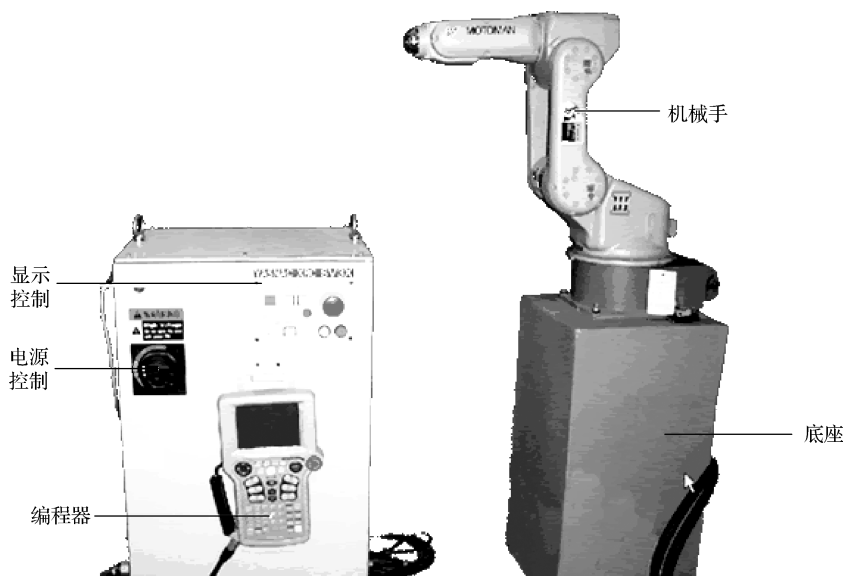


图 6-18 控制柜中的人机交互系统

## 6. 控制系统

控制系统是工业机器人最重要的组成部分，相当于人的大脑，是工业机器人的指挥中心。它通过输入的程序或指令信息（包含动作的顺序、轨迹、速度及时间等），控制工业机



机器人的各部分按规定或给定的程序进行运动,也可通过反馈(即将各传感器发出的信息集中起来并对这些信息进行判断)进行必要的控制,并记忆人们所示教的指令信息,如动作顺序、运动轨迹、运动速度等,以再现控制所存储的示教信息。

控制系统实现对操作机的控制,一般由控制计算机和伺服控制器组成。前者发出指令协调各关节驱动器之间的运动,后者控制各关节驱动器,使各个杆件按一定的速度、加速度和位置要求进行运动。

控制系统有以下两种方式。

### 1) 集中式控制

集中式控制即指机器人的全部控制由一台微型计算机完成。集中式控制系统如图 6-19 所示。

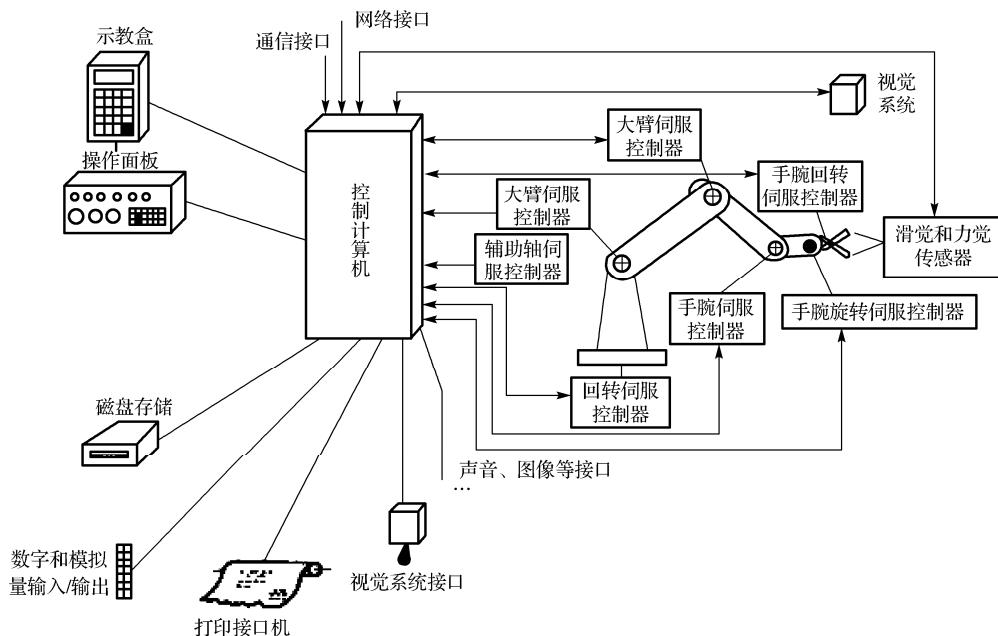


图 6-19 集中式控制系统

### 2) 分散(级)式控制

分散(级)式控制即指采用多台微机来分担机器人的控制,如当采用上、下两级微机共同完成机器人的控制时,主机常用于负责系统的管理、通信、运动学和动力学计算,并向下级微机发送指令信息;作为下级从机,各关节分别对应一个 CPU,进行插补运算和伺服控制处理,实现给定的运动,并向主机反馈信息。

## 6.1.4 工业机器人的技术参数

尽管工业机器人的种类、结构、用途及用户的要求等都有所不同,但其主要技术参数应包括自由度、精度(定位精度和重复定位精度)、工作范围、最大工作速度和承载能力、灵活度等。

### 1. 自由度

自由度是指机器人所具有的独立坐标轴运动的数目,但不应包括手爪(末端操作器)

的开合自由度。机器人的一个自由度对应一个关节，自由度与关节的概念是相等的，所以，自由度是表示机器人动作灵活程度的参数，即自由度越多就越灵活。同时，自由度越多，就越能接近人手的动作机能，通用性和适应性就越好，因此，自由度也是反映操作机的通用性和适应性的一项重要指标。但是自由度越多，结构就越复杂，控制难度也就越大。

在一个三维空间中描述一个物体的位置和姿态（简称位姿）需要 6 个自由度，但机器人的自由度是根据其用途而设计的，可能小于 6 个自由度，也可能大于 6 个自由度。目前，一般的通用工业机器人大多为 5 个自由度，已能满足多种作业的要求。如图 6-20 所示为 5 个自由度的工业机器人。

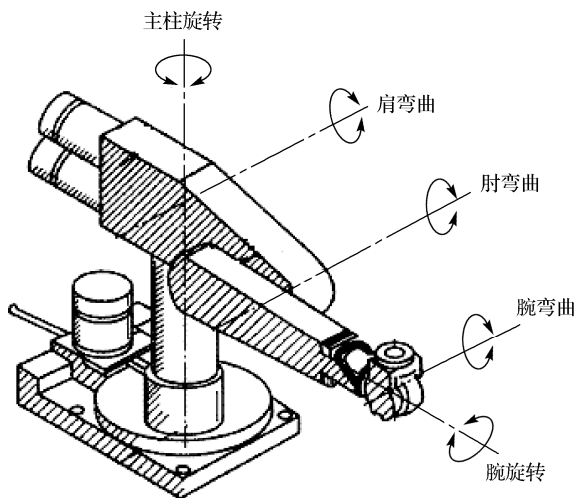


图 6-20 5 个自由度的工业机器人

在实际应用中，工业机器人的自由度一般为 3~6 个。若只是进行一些简单的操作，如在传送带之间拾取放置零件，那么 4 轴机器人就足够了。大于 6 个自由度称为冗余自由度，如人类的手臂（大臂、小臂、手腕）共有 7 个自由度，冗余自由度增加了机器人的灵活性，工作起来更灵巧，并可从不同的方向到达同一个目标位置，更方便机器人避开障碍物和改善机器人的动力性能。

## 2. 精度（定位精度和重复定位精度）

工业机器人精度指定位精度和重复定位精度。定位精度是指机器人末端执行器的实际位置（即手部实际到达位置）与目标位置之间的偏差，是由机械误差、控制算法与系统分辨率等部分构成的。重复定位精度是指在同一环境、同一条件、同一目标动作、同一命令之下，机器人连续重复运动若干次时，其位置的分散情况，即机器人重复定位其手部于同一目标位置的能力。重复定位精度是关于精度的统计数据，因此不受工作载荷变化的影响，通常用重复定位精度这一指标作为衡量示教-再现工业机器人水平的重要指标。

## 3. 工作范围

工作范围又称为工作空间、工作区域。工作范围是指工业机器人手臂末端或手腕中心所能到达的所有点的集合，但不应包括安装末端操作器时的的工作区域。由于工业机器人在



执行某作业时可能会因为存在手部不能到达的作业死区而不能完成任务,因此工作范围的形状和大小是十分重要的。如图 6-21 所示,图中阴影范围为工业机器人的工作区域。

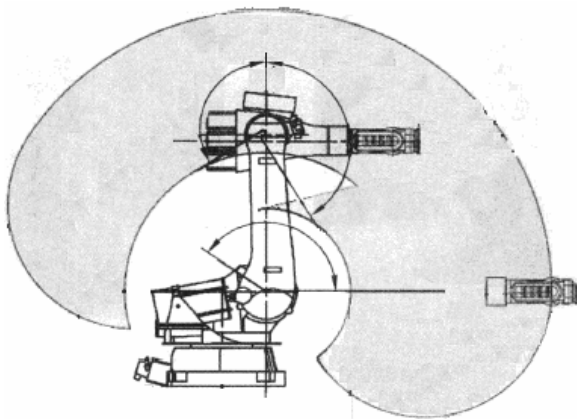


图 6-21 工业机器人的工作区域

工作范围的大小不仅与工业机器人各连杆的尺寸有关,而且与其总体结构形式有关。

#### 4. 最大工作速度

工作速度通常指工业机器人各个方向的移动速度或转动速度。很明显,工作速度越高,即最大工作速度越高,其工作效率就越高;但是,要花费更多的时间去加速或减速,或者对工业机器人的最大加速率或最大减速率的要求也就更高。因此,速度对于不同的用户需求也不同,它取决于工作需要完成的时间。

#### 5. 承载能力

承载能力是指工业机器人在工作范围内的任何位置或位姿上所能承受的最大质量。为了安全起见,承载能力这一技术指标指高速运行时的承载能力。通常,承载能力不仅指负载,而且还包括了工业机器人末端操作器的质量。例如,需要将零件从一台机器处搬至另外一处,这就需要将零件的重量和工业机器人抓手的重量计算在承载能力内。

承载能力不仅取决于负载的重量,而且还与工业机器人运行的速度和加速度的大小和方向有关。

#### 6. 灵活度

灵活度是指操作机末端执行器在工作(如抓取物体)时所能采取的姿态的多少。若能从各个方位抓取物体,则其灵活度最大;若只能从一个方位抓取物体,则其灵活度最小。

#### 【例 6-1】ABB 喷涂机器人

##### 1. 简介

ABB 是一个全球电力和自动化技术领域的企业(公司),致力于在工业、能源、电力、交通和建筑等行业提高生产效率和能源效率,同时降低对环境的不良影响。ABB 的机器人技术广泛应用于生产过程和各种生产线上,其中 ABB 喷涂机器人具有效率高、通用性强和工作可靠等优点。如图 6-22 所示为 ABB 喷涂机器人正在喷涂作业。



图 6-22 ABB 喷涂机器人正在喷涂作业

ABB 喷涂机器人的种类较多, 根据其用途、负载能力、工作范围等不同而各不相同, 如, 型号 IRB 580——紧凑型喷涂机器人; 型号 IRB 1200——多用途的小型机器人; 型号 IRB 140——机器人负载能力为 6kg、工作范围为 0.81m; 型号 IRB 4400——机器人负载能力为 60kg、工作范围为 1.95m。

下面以 ABB IRB 580 喷涂机器人为例进行介绍。

## 2. 技术特点

ABB IRB 580 喷涂机器人系统是高柔性、高精度、高成本效益的喷涂机器人系统, 在紧凑布局的同时融合了 IRB 5400 系列机器人的各项先进功能。

技术特点如下。

### 1) 生产效率与成本效益双高

ABB IRB 580 配备集成式喷涂工艺设备及 PLC 接口, 出厂时已完成预配置, 即到即装, 只需以功能强大的 RAPID 编程语言添加喷涂指令, 便可快速完成机器人设置, 并投入生产运行。ABB IRB 580 具有平衡性极佳的机器人手臂和经优化设计的传动系统, 其能耗仅为同类机器人系统的 50%~70%。该机器人装备先进的电动机与变频器, 与高端的 ABB IRB 5400 系列所用型号相同, 从而确保其能高速度、高精度地运行。

### 2) 具有“中空手腕”, 能灵活转向

“中空手腕”可沿任意方向旋转 140°。“中空手腕”技术的主要优势还在于所有涂料管和空气管都封装在手臂和手腕内, 可有效防止软管的损坏, 而且这种设计还能避免磨损, 提高系统总体可靠性, 减少维护工作量。

### 3) 高速、精准

ABB 具有的集成过程系统 (IPS), 可实现闭环回路式调节及高速涂料控制与空气流量调节。采用该系统, 更有利于在喷涂对象的整个表面形成指定厚度的均匀漆膜, 从而获得优异的涂装品质, 并优化漆料的耗用。

### 4) 全球控制柜平台

S4P+控制柜采用模块化设计, 并达到了最高等级的运行可靠性。ABB 搭建的全球控制柜平台能显著降低培训、服务和工程成本。





如图 6-23 所示为 ABB IRB 580 喷涂机器人及其控制柜。



图 6-23 ABB IRB 580 喷涂机器人及其控制柜

### 3. 各种技术指标、性能

#### 1) 工作区域

ABB IRB 580 喷涂机器人有两个版本：短水平臂（1220mm）版、长水平臂（1620mm）版，其工作区域如图 6-24 所示。

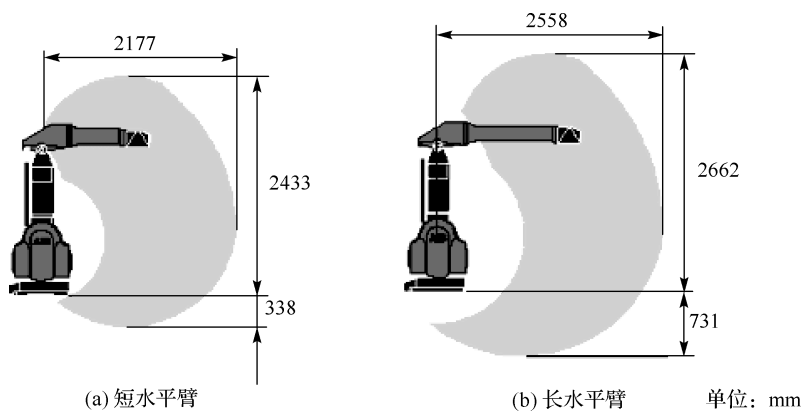


图 6-24 ABB IRB 580 喷涂机器人工作区域

#### 2) 主要参数

承重能力（承载能力）：10kg。

轴数（自由度）：6 轴。

定位精度：0.3mm。

轨迹精度： $\pm 3\text{mm}$ 。

各轴（自由度）运动参数如表 6-2 所示。

表 6-2 各轴（自由度）运动参数

轴号	轴 名	工 作 范 围	最 大 速 度
1	回转轴	300°	112°/s
2	垂直臂轴	145°	112°/s
3	水平臂轴	95°	112°/s
4	内部手腕	Indefinite（无限）	415°/s
5	手腕弯曲	indefinite（无限）	400°/s
6	外部手腕	920°	560°/s

### 3) 电气指标

电源电压：3 相，200~600V，50/60Hz。

功耗：待机时小于 300W；生产时为 1000W；峰值为 5000W。

电气安全：符合国际标准。

### 4) 安装方式

安装方式包括落地式、导轨式。

### 5) 使用环境

温度：机器人，+5~+45℃；控制柜，+5~+52℃。

湿度：≤95%。

## 4. 控制系统

工业机器人由操作机（机械本体）、控制柜（采用 PLC 微电脑控制）、伺服驱动系统（伺服电动机）和检测传感装置构成。控制系统通过编程，能控制其末端在三维空间做任意轨迹运动，配备适合的末端执行器，可实现各种喷涂操作。

软件使用如下。

### 1) 基本软件

Base Ware OS：机器人操作系统。

RAPID：应用编程语言。

输送链跟踪：高精度同步跟踪机器人动作、喷涂工艺调整和物体的移动（包括任何方向的直线或圆周的运动）。

### 2) 工艺软件

IPS：集成过程系统。

IPS 系统实现闭环回路式调节及高速涂料控制与空气流量调节。



图 6-25 控制器

### 3) PC 工具

CAP：计算机辅助喷涂软件包（含 Shop Floor Editor 和 Rob View）。

Shop Floor Editor：采用 3D 图形对路径和工艺进行调节及离线编程。

Rob View：实现在生产过程中监控机器人和工艺过程。

控制器（编程器）：控制器的外观和各部分控制按钮如图 6-25 所示。



## 训练项目 10：工业机器人训练

## 1. 训练目的

工业机器人是一种仿人操作,自动控制,可重复编程,能在三维空间完成各种作业的适合于多品种、变批量的柔性生产的机电一体化(自动化)生产设备。通过对工业机器人的操作训练,应掌握其控制系统(包括结构和基本工作原理),能阅读相关技术手册,进一步熟悉编程器及其的应用编程,理解工业机器人的操作顺序或步骤,提高对机电控制技术知识的综合理解。

## 2. 训练内容

工业机器人(手)操作。

## 3. 设备、材料

设备、材料见图 6-26,清单见表 6-3。

表 6-3 设备、材料清单

名 称	规格(参考)	数 量
工业机器人	YASKAWA	1 台
控制柜系统	XRC	1 套



图 6-26 YASKAWA 工业机器人及控制柜系统(XRC)

## 4. 训练步骤

(1) 阅读机器人使用手册;熟悉 XRC 控制柜内容(包括再现控制面板、主电源开关、门锁、编程控制器等的位置)及其各键的作用。

(2) 开启 XRC 控制柜。

① 开启主电源:将主电源开关拨向 ON 位置,开启主电源。

② 开启诊断:当主电源开启后,系统将自检,并且在编程控制器屏幕上显示开启信息。

③ 开启伺服电源。

再现模式:当保险装置闭合时,按“SERVO ON READY”按钮开启伺服电源,该按钮指示灯亮,说明电源已开启。

示教模式:按再现面板上的“SERVO ON READY”按钮,开启伺服电源。伺服电源开启之后,这个按钮点亮了。按“TEACH LOCK”按钮进入示教模式。当操作者握紧手握急停开关时,伺服电源开启并且再现面板上“SERVO ON READY”按钮亮了。

(3) 示教机器人的一种作业。

① 准备工作：按下再现面板上的“REMOTE”按钮，使灯灭；按下“TEACH”按钮（在面板上），设置示教模式；按下“TEACH LOCK”键（在编程控制器上），锁住示教模式（示教锁，确保安全）。

② 输入作业名称：在顶部菜单中选择“JOB”选项，并在子菜单中选择“CREATE NEW JOB”选项，这时将显示输入行。

③ 在显示了新的作业后，按“SELECT”键。

例如，作业的名字叫“TEST”，先用翻页键显示字母符号页；再移动光标到“T”，按“SELECT”键，“E”、“S”和“T”类似；最后按“ENTER”键确认；移动光标至“EXEC”处，按“SELECT”键，这样，作业名“TEST”将存储在 XRC 系统中，并且作业内容被显示出来，自动显示 NOP 和 END 指令。

④ 选择运行模式与运行速度：机器人的路径运行模式有节点运动、线形运动、圆形运动、曲线形运动 4 种。为了安全，在第一步先使用节点运动模式。

在节点运动模式时选择速度设定值。速度的大小以最大速度的百分比取值。

⑤ 作业：选用操作面板上的“FWD”和“BWD”键操作。每按下“FWD”或“BWD”键，机器人就会向前或向后移动一步。按下“INTER LOCK”+“FWD”键时，机器人会执行已编程的所有指令。

在实际操作过程中，还可以对各个工序进行时间控制、运行速度控制及运行方式控制等。

(4) 机器人自动完成作业（即“再现”）。

① 关闭示教模式，进入再现模式。

② 将光标移动到程序的起始位置。

③ 运行程序时先将机械手复位。

④ 在控制面板上按下“运行”按钮，选择运行模式。然后按下控制面板上的“启动”按钮。这样，机械手就会按照在“示教模式”，从初始状态的第一步开始进行连续运行，直至停止。

(5) 完成作业后，关闭电源。

### 5. 基本注意事项

(1) 当开启电源时，应是先打开主电源开关，然后开启伺服电源。

(2) 在开启电源时，确保机器人周围区域是安全的。

(3) 当保险装置断开时，伺服电源是不能打开的。

(4) 如果“TEACH LOCK”按钮指示灯没有点亮，使用紧急制动开关，不能开启伺服电源。

(5) 能用于作业名的字符必须是数字、字母，或已注册的其他字符。

(6) 机器人使用手册中相关的安全事项。

### 6. 思考

(1) 训练用机器人的驱动系统采用何种驱动形式？简述驱动的基本原理。

(2) 训练用机器人的感受系统是怎样的？



## 6.2 自动生产线

自动生产线是现代工业的生命线,机械制造、电子信息、石油化工、轻工纺织、食品制药、汽车生产及军工业等现代化工业的发展都离不开自动生产线,其在整个工业及其他领域中占有重要的地位和作用。

如图 6-27 所示为某品牌饮料自动生产线。



图 6-27 饮料自动生产线

### 6.2.1 自动生产线概述

#### 1. 概念

自动生产线(简称自动线、生产线)是指按照产品加工工艺过程,用工件存储及传送装置把自动化专机及辅助机械设备连接起来形成的具有独立控制装置的自动完成产品全部或部分制造(制作)过程的生产系统。

自动生产线之所以能成为一个系统,缘于其是建立在机械技术、计算机技术、传感技术、驱动技术、接口技术等基础上的一门综合技术。它从系统工程观点出发,应用这些综合技术,根据生产的需要,对它们进行有效地组织与综合,从而实现整体设备的最佳化。

#### 2. 发展

在 20 世纪 20 年代,随着汽车、滚动轴承、小型电动机和缝纫机等工业设备发展,机械制造中开始出现自动生产线,最早出现的是组合机床自动生产线。在 20 世纪 20 年代之前,首先在汽车工业中出现了流水生产线和半自动生产线,随后发展成为自动生产线。第二次世界大战后,在工业发达国家的机械制造业中,自动生产线的数目急剧增加。

自动生产线是在流水线和自动化专机的功能基础上逐渐发展形成的自动工作的机电一体化装置系统。它不仅要求线体上各种机械加工装置能自动地完成预定的各道工序及工艺过程,使产品成为合格品,而且要求在装卸工件、定位加紧、工件在工序间的输送、切削(加工废料)的排除,甚至包装等方面都能自动完成。为了达到这一要求,通过自动化输送及其他一些辅助装置,按照特定的工序顺序或生产流程,将各种机械加工装置、自动化专

机连接成一体,并通过液压系统、气压系统、电气控制系统和传感器设备等将各部分的动作联系起来,使整个系统按照规定的程序自动工作,从而连续、稳定地生产出符合技术要求的特定产品。

随着数字控制机床、工业机器人和电子计算机等技术的发展,以及成组技术的应用,将使自动生产线的灵活性更大,可实现多品种、中小批量生产的自动化。多品种可调自动生产线,降低了自动生产线生产经济批量,因而在机械制造业中的应用越来越广泛,并向更高度自动化的柔性制造系统发展。

### 3. 特点

自动生产线虽源于流水生产线,与流水生产线有许多相似之处,但其性能已经远远超过流水生产线,并有许多明显的不同。最主要的特点是自动生产线具有统一的自动化控制系统,有较高的自动化程度,还具有比流水生产线更为严格的生产节奏,工作必须以一定的生产节拍经过各个工位完成预定的加工。

采用自动生产线进行生产的产品应有足够大的产量。产品设计和工艺应先进、稳定、可靠,并在较长时间内保持基本不变。在大批量生产中采用自动生产线能提高劳动生产率,稳定和提高产品质量,改善劳动条件,缩减生产占地面积,降低生产成本,缩短生产周期,保证生产均衡性,有显著的经济效益。

自动生产线在无人干预的情况下按规定的程序或指令自动进行操作或控制过程,其目标是“稳、准、快”。采用自动生产线不仅可以把人从繁重的体力劳动、部分脑力劳动及恶劣、危险的工作环境中解放出来,而且能扩展人的器官功能,极大地提高劳动生产率,增强人类认识世界和改造世界的能力。

自动生产线为满足各方面的要求,主要考虑以下几方面。

- (1) 提高质量。
- (2) 增加生产。
- (3) 为适应生产变化而更换模具的时间短。
- (4) 生产过程的监控。
- (5) 操作人员的安全。
- (6) 收集与管理产品及机器参数。这个任务可以提高工作效率,同时也可给设备的维护提供方便。
- (7) 存储最佳生产数据,为连续生产过程搜集实验数据并自动纠正加工数据。

#### 6.2.2 自动生产线的应用

自动生产线的应用广泛,应用时主要考虑以下几方面。

- (1) 定型、批量大、有一定生产周期的产品。
- (2) 产品的结构便于传送、自动上下料、定位和夹紧、自动加工、装配和检测。
- (3) 产品结构比较繁杂、加工工序多、难以操纵,甚至无法保证产品的加工数量及质量。
- (4) 以包装、装配工艺为主的生产过程。
- (5) 受加工方法、手段、环境等因素影响而不宜用自动机进行生产。

在机械制造业中有铸造、锻造、冲压、热处理、焊接、切削加工和机械装配等自动生



产线,也有包括不同性质工序(如毛坯制造、加工、装配、检验和包装等)的综合自动生产线。由于生产的产品不同,因此根据生产的需要可以分成各种不同功能的自动生产线。

### 【例 6-2】SMT 全自动生产线

#### 1. 简介

SMT 是表面组装技术(Surface Mounted Technology)的英文缩写,是目前电子组装行业里最流行的一种技术和工艺。为什么要采用 SMT 技术?主要是因为目前的电子产品追求小型化,使以前采用的穿孔插装元件的方法无法再应用;另外,电子产品功能更完整,所采用的集成电路(IC)已无穿孔元件,特别是大规模、高集成 IC,不得不采用表面贴片元件。SMT 应用如图 6-28 所示。SMT 是由混合集成电路技术发展而来的新一代电子装联技术,以采用元件表面贴装技术和回流焊接技术为特点,成为电子产品制造中新一代的组装技术。

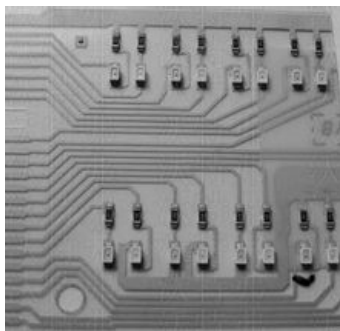


图 6-28 SMT 应用

SMT 的特点:

- (1) 组装密度高、电子产品体积小、重量轻。贴片元件的体积和重量只有传统穿孔插装元件的 1/10 左右,因此,采用 SMT 之后,电子产品的体积可缩小 40%~60%,重量减轻了 60%~80%。
- (2) 可靠性高,抗振能力强,焊点缺陷率低。
- (3) 高频特性好,减少了电磁和射频干扰。
- (4) 易于实现自动化,生产效率高。降低成本达 30%~50%,节省材料、能源、设备、人力、时间等。

#### 2. SMT 生产线

SMT 生产线的主要设备有:印刷机、贴片机(上表面电子元件)、回流焊、插件、波峰炉、测试包装等。

如图 6-29 所示为其中一种 SMT 生产线。

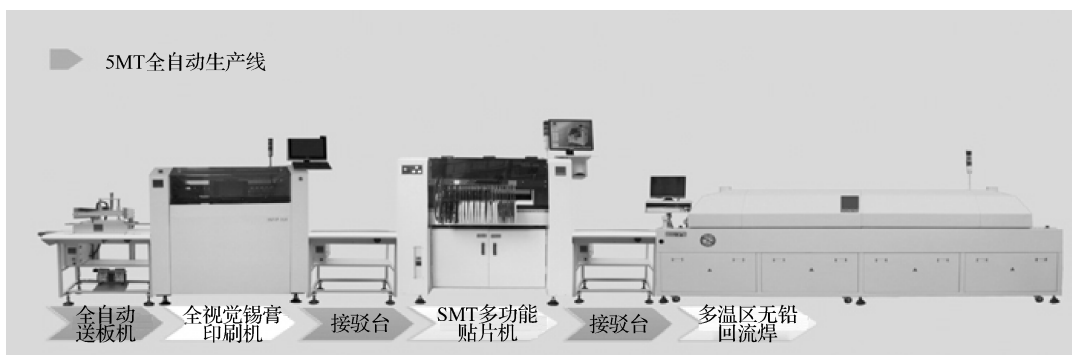


图 6-29 SMT 生产线

该 SMT 生产线为全自动生产线配置,全自动送板机→全视觉锡膏印刷机→接驳台→SMT 多功能贴片机→接驳台→多温区无铅回流焊,全线只需要 1 个操作人员。

## 3. 生产工艺和流程

典型的表面贴装工艺分为 3 步：施加焊锡膏→贴装元件→回流焊。

### 1) 施加焊锡膏

目的是将适量的焊锡膏均匀地施加在 PCB（印制电路板）的焊盘上，以保证贴片元件与 PCB 相对应的焊盘在回流焊时达到良好的电气连接，并具有足够的机械强度。

焊锡膏是由合金粉末、糊状焊剂和一些添加剂混合而成的具有一定黏性和良好接触特性的膏状体。常温下，由于焊锡膏具有一定的黏性，可将电子元件粘贴在 PCB 的焊盘上，在倾斜角度不是太大，也没有外力碰撞的情况下，元件一般是不会移动的。当焊锡膏加热到一定温度时，焊锡膏中的合金粉末熔融再流动，液体焊料浸润元件的焊端与 PCB 焊盘，冷却后元件的焊端与焊盘被焊料互连在一起，形成电气与机械相连接的焊点。

焊锡膏由专用设备施加在焊盘上，其设备有：全自动印刷机、半自动印刷机、手动印刷台、半自动焊锡膏分配器等。

### 2) 贴装元件

本工序使用贴装机或手工将片式元件准确地贴装到印好焊锡膏或贴片胶的 PCB 表面相应的位置上。

### 3) 回流焊

回流焊通过重新熔化预先分配到印制板焊盘上的膏装软钎焊料，实现表面组装元件焊端或引脚与印制板焊盘之间机械与电气连接的软钎焊。

回流焊原理：PCB 进入 140~160℃ 的预热温区时，焊锡膏中的溶剂、气体蒸发掉，同时，焊锡膏中的助焊剂润湿焊盘、元件焊端和引脚，焊锡膏软化、塌落并覆盖焊盘，将焊盘、元件引脚与氧气隔离，并使贴装元件得到充分的预热。进入焊接区时，温度以每秒 2~3℃ 的国际标准升温速率迅速上升，使焊锡膏达到熔化状态，液态焊锡膏在 PCB 的焊盘、元件焊端和引脚润湿、扩散、漫流和回流混合在焊接界面上，生成金属化合物，形成焊锡接点。最后 PCB 进入冷却区使焊点凝固。

## 【例 6-3】全自动称重包装码垛生产线

### 1. 简介

全自动称重包装码垛生产线主要应用于石油化工、化肥、粮食、饲料、建材、冶金、港口、物流等多种行业的粒料、粉料、块料、液体等产品在使用各种包装袋（如纸袋、塑料袋、编织袋等）时的自动包装、称重、包装检测、码垛的全过程自动化。如图 6-30 所示为全自动称重包装码垛生产线结构示意图。

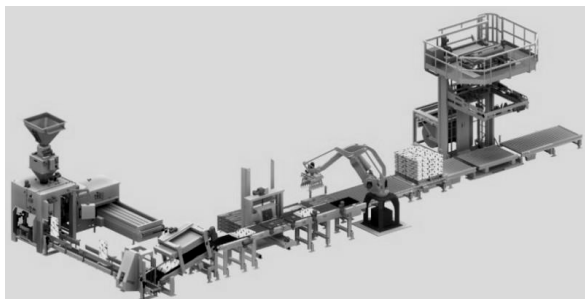


图 6-30 全自动称重包装码垛生产线结构示意图





随着人力成本的增加、生产效率的提高、工作环境意识的不断提升,特别是化工等行业的气味、粉尘等现场环境对工人健康的严重影响,从事这类重复性及重体力劳动的人员越来越少,使各个企业对相关操作设备的需求和改进与日俱增。目前,工业机器人的实际应用越来越广泛,其中物料搬运是一个主要的应用领域,在各种大规模的生产、仓储系统中,对搬运速度、处理能力的要求越来越高。以前码垛作业大部分是由机械式码垛机完成或人工搬运,由于机械式码垛机受结构等因素的限制,存在占地面积大、程序更改麻烦(甚至无法更改)、耗电量等缺点;而人工搬运劳动量大,完成同一工作量需不少工人。而码垛机器人具有生产能力高及较高的安全可靠,能够实现减员增效、节省人力资源成本、安全的目的;且在节能美观、整机功率小,比传统的码垛机节省电能;速度快、生产效率高,单台码垛机器人可以完成多条包装线的码垛任务;可靠性高,无故障率时间可等同于 PLC;结构简单、体积小,可以大大缩短生产线的长度,减少设备量,简化工作程序及节省工作场地。码垛机器人通过配置还能完成尼龙(纸)袋、纸箱、塑料箱、玻璃瓶的卸码垛任务。

如图 6-31 所示为全自动称重包装码垛生产线。



图 6-31 全自动称重包装码垛生产线

## 2. 技术特点及其参数

通过智能程序控制对整个生产线工作过程进行自动控制,可实现连续运转,具有故障报警、显示和自动连锁停机功能,也可根据用户需要配备通信接口,对全自动包装码垛生产线实现实时监控、远程诊断和网络化管理。

技术参数如下。

(1) 包装袋:覆膜纸袋、PP/PE 编织袋、重型塑料袋等。

封口设备: DS-9 或 DS-6 缝包机纸袋, PP/PE 编织袋, HS-9 热合机用于 PE 塑料袋或其他不同的热合机。

称重范围: 20~50kg/包。

(2) 自动上袋系统保证连续工作。

水平供袋机可连续供应 500~1200 包装袋/h。

(3) 系统具有自动报警和连锁控制,并具有检测与剔除功能。

(4) 包装机的加料形式可以选用自由落料、水平螺旋给料、垂直螺旋给料。

(5) 可以根据需要设计制造符合净化室、防爆等多种场合使用的全自动称重包装码垛生产线。

(6) 电源：380VAC/220VAC，50Hz±10%。

控制电源：24VDC。

(7) 控制气源：0.5~0.8MPa。

## 3. 生产线设备组成与工作过程

全自动称重包装码垛生产线主要是对各个工序（供袋、称重、装袋、折边、封袋、倒袋整形、金属检测、重量复检、批号打印、转位编组、码垛、托盘和垛盘的输送等作业过程）进行全程监控，从而简化生产线的工序结构，减少人工操作，提高生产效率及包装质量。通过 PLC 程序控制对整个自动生产线工作过程进行全程控制，因此实现连续工作，并具有故障报警、显示及自动连锁停机等功能。

如图 6-32 所示为全自动称重包装码垛生产线的构成。

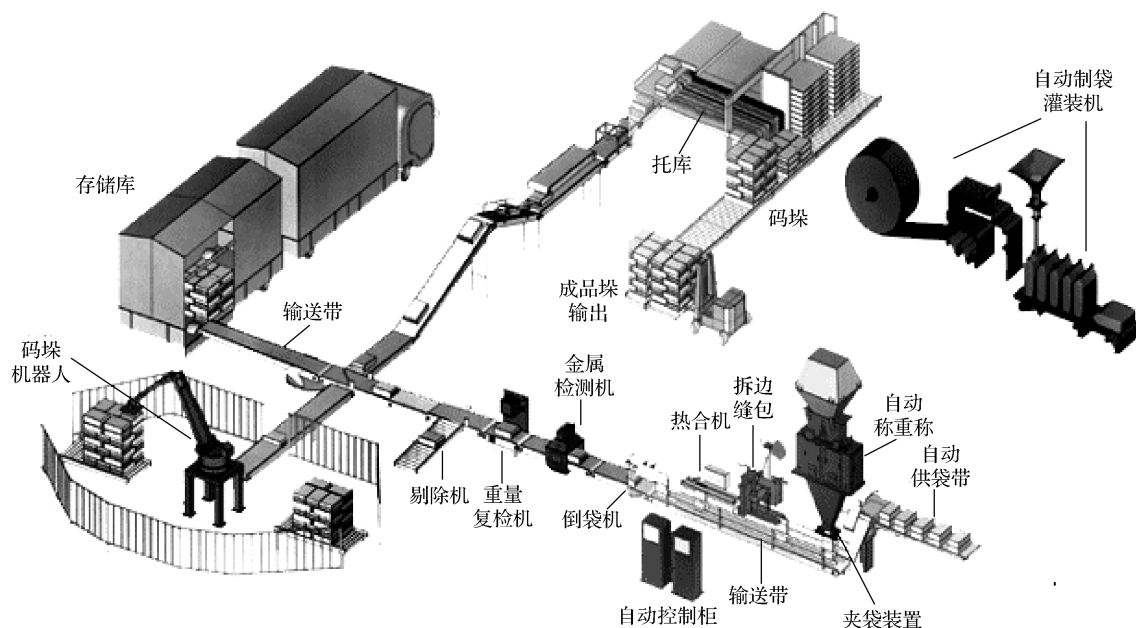


图 6-32 全自动称重包装码垛生产线的构成

全自动称重包装码垛生产线设备是由自动供袋带、自动称重秤、夹袋装置、输送带、折边缝包机、热合机、倒袋机、金属检测机、重量复检机、剔除机、自动码垛机（码垛机器人）、自动控制柜（电气控制柜）等组成。

全自动称重包装码垛生产线主要包括粉、粒、块状物料实现称重、供袋、装袋、折边、封袋、倒袋整形、金属检测、重量复检、批号打印、转位编组、码垛、托盘和垛盘的输送等自动化生产过程。

生产工艺流程主要如下。

### 1) 自动供袋。

当按下包装码垛生产线准备就绪按钮时，系统各部分归位为初始状态。当吸袋垂直气



缸电磁阀接通时,气缸下降并且吸袋真空装置接通工作。当吸袋真空阀达到设定值时,吸袋垂直气缸开始上升,吸盘吸住袋子上升。当上限位开关打开时,触发倾斜气缸电磁阀接通,使垂直气缸倾斜,把袋送入供袋辊子,完成吸袋操作。

#### 2) 自动取袋。

当上一工序完成后,自动取袋装置开始工作。袋子被送到斜托板上,横进装置到达生产线装袋位置时,触发磕头装置倾斜,由限位开关进行限位,同时触发真空电磁阀,实现真空吸袋。延时后,吸住袋子并且磕头装置立起,斜托板上升回到原来位置,完成整个取袋动作。

#### 3) 送袋、开袋、装料。

当上一工序完成后,送袋、开袋、装料装置开始工作。初始状态时,开袋、抱板与大夹子处于张开位置,横进装置向包装线取袋方向减速移动,检测到位后,抱板与大夹子闭合。横进装置向包装线装袋位置减速移动,由限位开关控制到位,触发抱板与大夹子,把装满料的袋子送到输送带上,同时夹辊气缸动作,完成夹送动作。之后卸料门打开,开始装袋。

#### 4) 折边、封袋。

当上一工序完成后,折边、封袋装置开始工作,包装袋通过夹口整形机和立袋输送机进入自动折边机。经过折边后,光电开关检测到包装袋后,触发缝纫机工作,缝合包装袋。

#### 5) 倒袋、输送、整形。

当上一工序完成后,倒袋、输送、整形装置开始工作。此时,包装袋由缝口机进入倒袋机,检测装置检测到料袋后,触发倒袋气缸伸出,将料袋推倒,进入整形工序。

#### 6) 金属检测、重量复检。

当上一工序完成后,金属检测、重量复检装置开始工作。检测装置检测到金属物体并发出报警,触发自动捡选机将含金属的料袋进行剔除。重量检测装置检测料袋重量不合格时,也将被自动捡选机剔除。

#### 7) 转位、编组。

当上一工序完成后,转位、编组装置开始工作。编组传输光电开关对袋数进行计数,根据计数结果确定转位机的不同动作。料袋至编组传输位,编组传输电动机开始运转。

#### 8) 推袋、分层。

当上一工序完成后,推袋、分层装置开始工作。编组机满信号激发一次推袋动作指令。之后,料袋进入分层机,侧面整形挡板合上,压袋机向下压袋。当托盘处于分层码垛位置时,分层机打开,升降机下降。当压袋机压到位后,光电开关触发压袋,侧面的整形气缸返回,升降机停止下降。当分层机空并且压袋机返回到位时,分层机开始关闭。

#### 9) 升降机控制。

当上一工序完成后,升降机控制装置开始工作。分层机动作且分层机满时光电开关触发一次层计数,升降机根据层计数的结果确定是否需要排垛操作,完成升降机控制动作。

#### 10) 托盘、垛盘输送机控制。

当上一工序完成后,托盘、垛盘输送机控制装置开始工作。当升降机进行排垛时,托盘及垛盘输送机是否需要启动排垛操作取决于垛盘位是否有空。

## 11) 托盘仓控制。

当上一工序完成后, 托盘仓控制装置开始工作。当托盘仓空时, 触发声光报警。当托盘仓上升时, 上升到一定位置托盘叉打开, 之后托盘仓继续上升, 直至到达顶部, 顶部限位开关闭合, 停止运动。等到托盘仓下降并降到托盘仓中位时, 托盘叉合上, 托盘仓继续下降, 直至到达底部, 底部限位开关闭合, 停止运动。

## 4. 生产线的控制系统

全自动称重包装码垛生产线的控制系统主要由软件系统和硬件系统组成。

根据全自动称重包装码垛生产线整体指标及作业要求, 其控制系统应满足如下要求:

- (1) 实时协调控制各工序的执行机构, 实现自动生产线的高速、稳定、可靠运行。
- (2) 实时监控能力高、动态响应性好。
- (3) 人机界面友好、编程简便, 操作简单。
- (4) 硬件结构紧凑, 具有一定的可扩展性, 易于维护。

为此, 控制系统硬件的上位机可采用监控软件(如西门子 WinCCV7.0)进行实时监控, 各组成部分通信连接采用工业以太网现场总线, 以达到对全自动称重包装码垛生产线各个工序的实时过程监控, 并可以对其运行过程中出现的故障进行及时维修、解决。硬件的下位机可采用 PLC(如西门子 S7-400)进行控制, 极大地提高了生产效率, 减少了劳动成本, 提高了生产自动化水平。

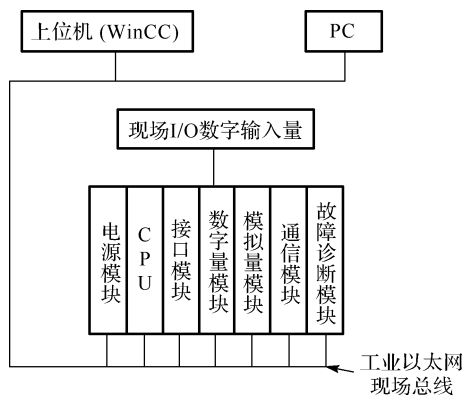


图 6-33 全自动称重包装码垛生产线控制系统硬件结构图

控制系统硬件结构图如图 6-33 所示。

控制系统软件的上位机监控系统画面的工作流程主要如下。

① 上位机监控系统码垛机械单元画面。当单击画面中“码垛机械系统”按钮时, 可以查看分层码垛机、升降机、托盘仓等板块的监控信息, 并且可以对这些板块根据需要进行操作。

② 上位机监控系统包装机械单元画面。当单击画面中“包装机械系统”按钮时, 可以查看电子称重机、自动供袋机、自动装袋机、转位输送机、编组机、推袋压袋机等板块的监控信息, 并且可以对这些板块根据需要进行操作。

③ 上位机监控系统报警画面。当全自动称重包装码垛生产线出现故障或错误报警时, 报警指示信号自动弹出, 可以单击画面中“报警记录”按钮进行查看, 并可根据相应提示信息进行操作。

④ 上位机监控系统参数设置画面。当全自动称重包装码垛生产线要进行某个动作时, 可通过参数设置画面进行参数设置, 单击画面的“参数设置”按钮, 进入参数设置画面。参数设置主要涉及控制参数、工艺参数。

控制系统软件的主画面如图 6-34 所示。

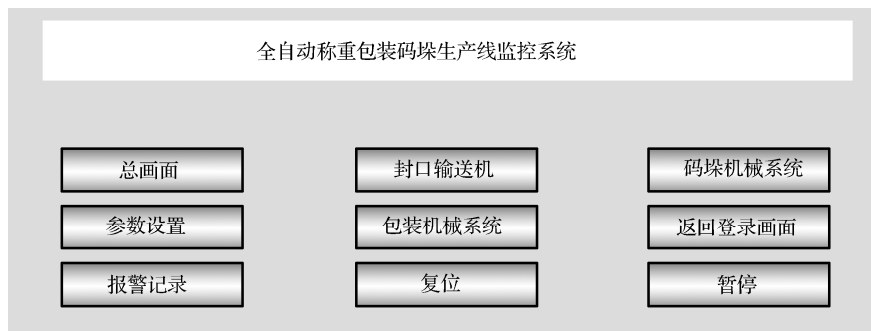


图 6-34 控制系统软件的主画面

### 6.2.3 自动生产线的构成

#### 1. 组成

由于生产的产品不同,各种类型的自动生产线大小不一,结构有别,功能各异,但可以把自动生产线分为主要工艺设备(专用的自动机)、辅助工艺装置、检测控制装置(包括检测、信号处理和控制系统)、物料存储和传送装置(包括传送、存储和上下料装置)等部分。整个自动生产线的主体是机械部分。从功能来看,不论何种类型的自动生产线都应具备最基本的4大功能,即运转功能、控制功能、检测功能和驱动功能。

运转功能在生产线上依靠动力源来提供。

控制功能在自动生产线中得以实现,是由微型机、单片机、可编程控制器或其他一些电子装置来承担完成的。在工作过程中,设在各部位的传感器把信号检测出来,通过控制装置对信号进行存储、运输、运算、变换等,然后用相应的接口电路向执行机构发出命令,完成必要的动作。

检测功能主要由位置传感器、直线位移传感器、角位移传感器等各种传感器来实现。传感器收集生产线上的各种信息,如位置、温度、压力、流量等传递给信息处理部分完成控制作用。

驱动功能主要由电动机、液压缸、气压缸、电磁阀、机械手或机器人等执行机构来完成。

#### 2. 结构形式

##### 1) 直线形式

它是将各种自动生产专机、加工设备及装置,按产品生产、加工工艺要求,由传送装置连接成一直线摆列的自动生产线。工件由自动生产线的一端上线,由另一端下线。这种排列形式的自动生产线最简单,制造也容易。

如图 6-35 所示为直线形式的自动生产(或加工)线。

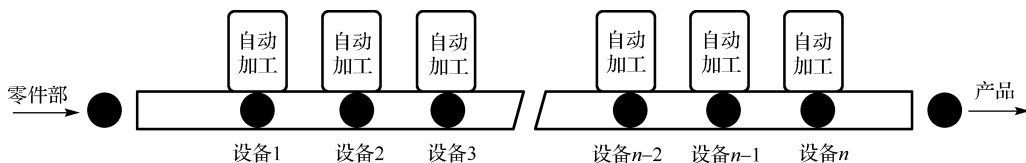


图 6-35 直线形式的自动生产(或加工)线

例如，型钢生产线如图 6-36 所示。



图 6-36 型钢生产线

## 2) 曲线形式

工件沿曲折线（如蛇形、之字形、直线与弧线组合等）传送，其他与直线形式相同。这种输送系统可以节省使用场地。

如图 6-37 所示为 L 形式的自动生产（或加工）线。

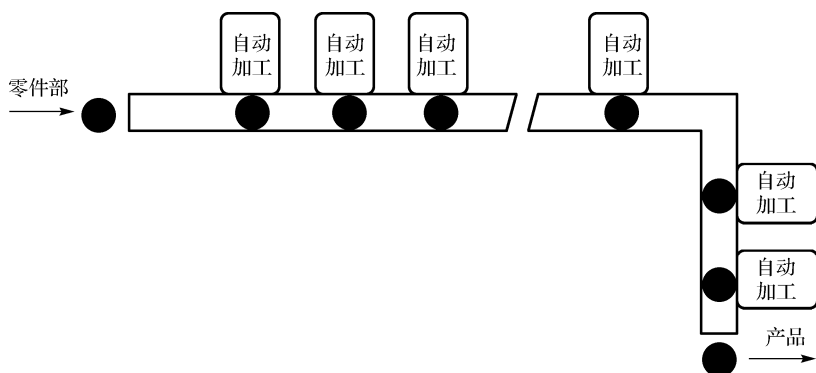


图 6-37 L 形式的自动生产（或加工）线

## 3) 封闭（或半封闭）环（或矩框）形式

为最大限度地节省使用场地而采用环形式。环形自动生产线的输送系统适合采用平顶链输送线（能自由转弯）。

如图 6-38 所示为两种形式的自动生产（或加工）线。

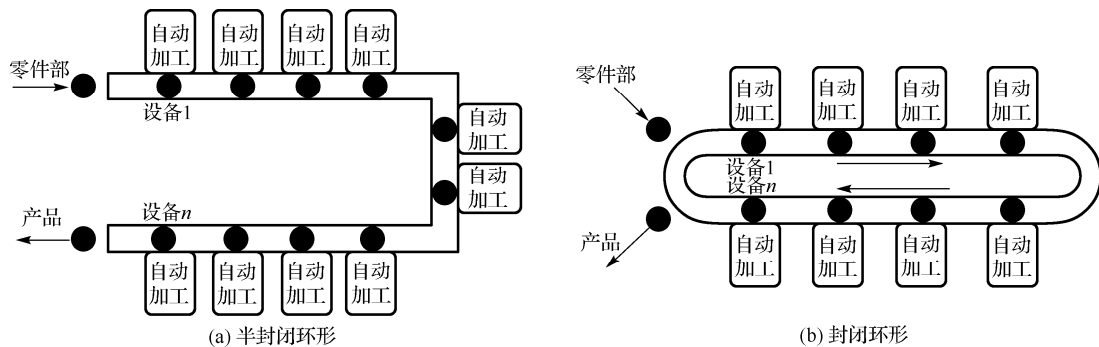


图 6-38 环形式的自动生产（或加工）线



例如,(圆盘)自动装配生产线如图 6-39 所示。

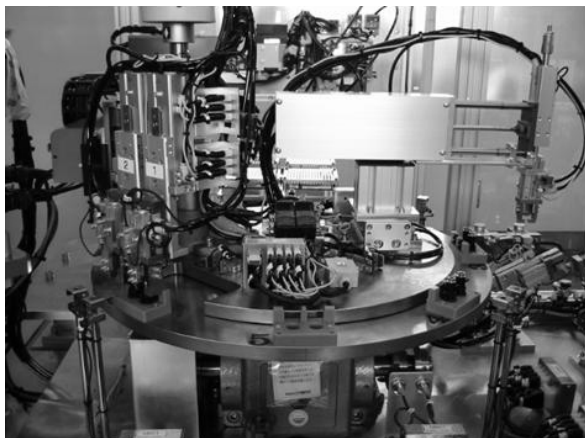


图 6-39 (圆盘)自动装配生产线

#### 4) 树枝形式(或称为分支式)

工件传送路线如同树枝,有主干与有分支。

例如,塑料板材片材生产线如图 6-40 所示。

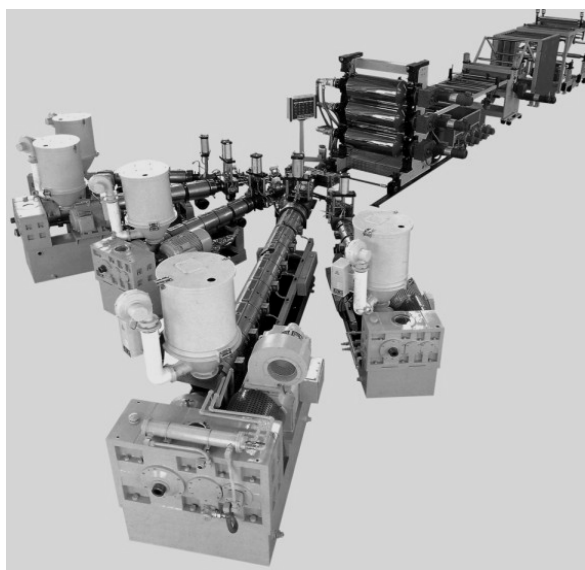


图 6-40 塑料板材片材生产线

### 3. 设备连接

自动生产线中设备的连接方式有刚性连接和柔性连接两种。

#### 1) 刚性连接

刚性连接指在自动生产线中,工序之间没有储料装置,工件的加工和传送过程有严格的节奏性。当某一台设备发生故障或需要维护、检修而停歇时,会引起全线停工。因此,刚性连接自动生产线中各种设备的工作可靠性要求高。

### 2) 柔性连接

在柔性连接自动生产线中,各工序(或工段)之间设有储料装置,各工序节拍不必严格一致。当某一台设备短暂停歇时,可以由储料装置在一定时间内起调剂平衡的作用,因而不会影响其他设备正常工作。

现在的综合自动生产线、装配自动生产线和较长的组合机床自动生产线常常采用柔性连接。

### 4. 柔性自动生产线

柔性自动生产线是一种技术复杂、高度自动化的系统,它将微电子学、计算机和系统工程等技术有机地结合起来,理想和圆满地解决了机械制造中高自动化与高柔性化之间的矛盾。

机械制造业的柔性自动生产线是把多台可以调整的设备(多为专用机床)连接起来,配以自动运送装置组成的生产线。它依靠计算机管理,将多种生产模式结合,从而能够减少生产成本,做到物尽其用。

特点如下。

#### 1) 设备利用率高

一组设备或机床编入柔性自动生产线后,产量比这组设备或机床在分散单机作业时的产量提高数倍。

#### 2) 生产能力相对稳定

自动加工系统由一台或多台机床组成;在发生故障时,有降级运转的能力,物料传送系统也有自行绕过故障机床的能力。

#### 3) 运行灵活

有些柔性自动生产线的检验、装卡和维护工作可在第一班完成,第二、第三班可在无人照看下正常生产。在理想的柔性自动生产线中,其监控系统还能处理诸如刀具的磨损调换、物流的堵塞疏通等运行过程中不可预料的问题。

#### 4) 产品质量高

零件在加工过程中,装卸一次完成,加工精度高,加工形式稳定。

#### 5) 产品应变能力大

刀具、夹具及物料运输装置具有可调性,且系统平面布置合理,便于增减设备,满足市场需要。

#### 6) 在制品减少 80%左右。

种类:柔性自动生产线的种类,按范围大小可分为产品生产线和零部件生产线;按节奏快慢可分为流水生产线和非流水生产线;按自动化程度可分为自动化生产线和非自动化生产线。

构成:就机械制造业中的柔性自动生产线而言,其基本组成应包括以下部分。

(1) 自动加工系统。自动加工系统指以成组技术为基础,把外形尺寸(形状不必完全一致)与重量大致相似、材料相同、工艺相似的零件集中在一台或数台数控机床或专用机床等设备上进行加工的系统。

(2) 物流系统。物流系统指由多种运输装置构成,如传送带、轨道、转盘及机械手等,完成工件、刀具等的供给与传送的系统,它是柔性自动生产线的主要组成部分。





(3) 信息系统。信息系统指对加工和运输过程中所需的各种信息进行收集、处理、反馈,并通过电子计算机或其他控制装置(液压、气压装置等)对机床或运输设备实行分级控制的系统。

(4) 软件系统。软件系统指保证柔性自动生产线用电子计算机进行有效管理的必不可少的组成部分,包括设计、规划、生产控制和系统监督等软件。柔性生产线适合年产量1000~100000件之间的中、小批量生产。

### 6.2.4 MPS 系统

#### 1. 简介

MPS 系统是模块化生产加工系统(Modular Production System)的简称,也可以称为多处理器模块化加工系统(Multi Processins System)。该系统结合了现代工业的特点,模拟一个与实际生产情况十分接近的自动化生产及控制过程,它是综合了机械技术(包括机械传动、机械连接)、电工电子技术、电动机拖动技术、传感器应用技术、气动技术、PLC 控制技术、通信技术等为一体的高度集成的机电一体化装置,涵盖了机械设计、传感器技术、液压气动技术、计算机控制技术、工业网络通信技术和工业机器人技术等多项学科的内容。该系统所使用的元件均为实际工业元件。因此,MPS 系统是体现了机电一体化技术的实际应用。

MPS 系统如图 6-41 所示。

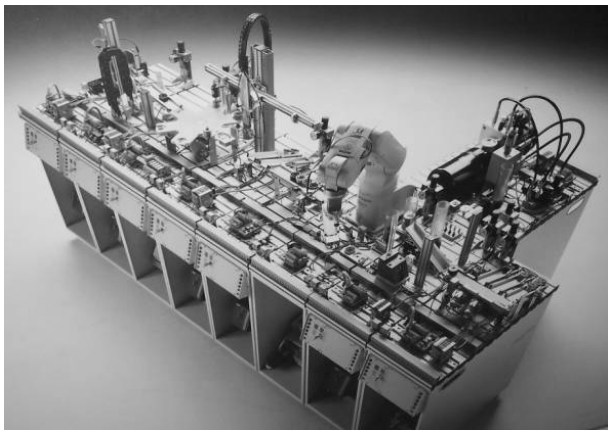


图 6-41 MPS 系统

#### 2. 构成

MPS 系统由 5~9 套各自独立而又紧密相连的模块工作站组成。每个模块工作站均设置一套 PLC 控制系统对各模块工作站进行独立控制,因此具有较好的柔性。可以通过工业网络总线技术及 PLC 的结合(如通过通信模块 EM277 与西门子 PLC S7-200 之间实现相互通信)实现对 MPS 系统中各模块工作站的分散控制,使系统的生产效率得到显著提高,并大大提高了系统可靠性和可维护性。

MPS 系统的模块工作站一般由送料、检测、加工、搬运、成品分装 5 个基本模块工作

站构成，但最多时可由供料、检测、加工、搬运、暂存、组装、整体、成品检测、成品分装 9 个模块工作站构成。每个模块工作站都具有特定的功能。

## 【例 6-4】气缸加工组装的 MPS 系统

如图 6-42 所示为气缸加工组装的 MPS 系统。

组成：该系统是模拟气缸加工组装全过程的自动生产线（模拟生产线），由上料监控、上料搬运、旋转加工、搬运、装配、冲压、分拣、立体仓库 8 个模块工作站构成。



图 6-42 气缸加工组装的 MPS 系统

气缸加工组装全过程：先由上料监控站将缸体从材料仓库取出并检测缸体的类型（如是金属还是塑料）与剔除废品；上料搬运站通过机器人（手）将缸体移送到加工位置；加工站将完成对缸体上的钻孔工作；搬运站的机器人（手）将加工好的缸体移送至装配站；装配站将根据缸体类型选择活塞、弹簧等配件组装成气缸；冲压站负责对缸盖上冲孔和最后安装；分拣站对已组装好的气缸进行功能检测，合格品送至仓库入库；立体仓库站将缸体类型送入相应存放位置。

## 3. 驱动与控制

### 1) 驱动（执行）

由于气动驱动方式与液压、电气等其他驱动方式相比有不可比拟的优势，因此 MPS 系统的执行机构主要采用气动执行机构。MPS 系统使用了大量的气动元件，包括多种电控气动阀、多种气缸、无杆气缸、气动手爪、真空吸盘、真空发生器、过滤减压阀等。

气动的基本原理是由空气压缩机（又称气泵）输出一定压力的气体，经空气过滤器滤除压缩空气中的水分和杂质，再经减压后送入各个工作站，驱动各站上的气动执行元件工作。在压缩空气输送过程中可通过气压表进行监视，通过压力继电器控制压缩机的自动启、停，以确保压缩空气的压力维持稳定。

### 2) 检测

检测装置主要是应用各种类型的传感器，如光纤式、电感式、光电式及磁性传感器等



安装在各工作站相应的位置,分别判断和检测物体(零部件、工件或成品)的运动及其位置,或物体(零部件、工件或成品)的状态,或物体(零部件、工件或成品)的材质、颜色等。因此,每种传感器都有各自的作用,根据被检测物体的性质不同等发挥不同的作用,使整个系统得以可靠地运行工作。

### 3) 控制

MPS 系统的控制装置全部采用可编程控制器(PLC)。其控制方式有分散控制方式和集中控制方式两种。分散控制方式即每一个工作站都由一个独立的 PLC 控制,而相邻两个工作站之间通过简单的 I/O 接口来传递公共信息。如例 6-4 气缸加工组装的 MPS 系统,其特点是各站互不干扰,可简化程序编写和调试过程,但成本高,各站之间的协调能力差,不利于管理。集中控制方式即统一由一个 PLC 控制所有的工作站,而各模块工作站与控制器之间通过现场总线网络接口来传递控制信息。特点是能够更好地协调各站的操作,从而体现生产线的整体性,但需要有强大的网络支持,且程序编写较复杂、调试过程烦琐。

可根据需要选择不同厂家的可编程控制器(PLC),并根据生产加工工艺和过程,编写 PLC 的控制程序,从而实现该工艺过程及其对 MPS 系统的控制。

## 4. 各工作站介绍

以下将以大工件与小工件加工装配的 MPS 系统为例进行介绍,该系统由 8 个模块工作站组成,分别为上料监控站、上料搬运站、加工站、搬运(分拣)站、传送分拣站、搬运安装站、安装站和分类存储站。

### 1) 上料监控站

功能:主要完成将工件从料斗依次取出,送至物料台;送出后经联机通信给下一站发出工件到位信号。

上料监控站如图 6-43 所示。

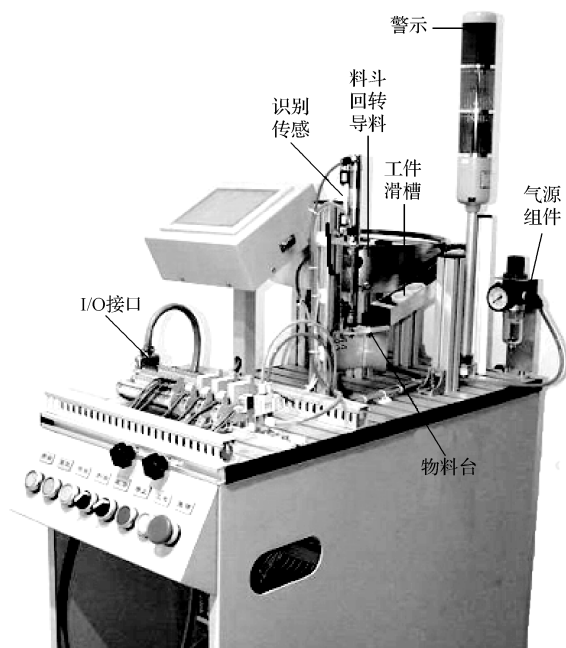


图 6-43 上料监控站

组成：料斗、回转台、导料机构、工件滑槽、提升装置、检测工件和颜色识别的光电开关、开关电源、可编程控制器（PLC）、控制按钮（可选用触摸屏）、I/O 接口和通信接口板、减速电动机、气源组件（电控气阀及其执行器件）、警示灯等。

主要部件作用：

- (1) 料斗：用于存放物料。
- (2) 回转台：带动物料转动。
- (3) 导料机构：使物料在回转台上能按照设定好的方向旋转，输送工件。
- (4) 工件滑槽：使物料下滑到物料台上。
- (5) 减速电动机：用于驱动回转台转动，通过导料机构输送工件。
- (6) 光电传感器 1：输送台上工件的颜色检测、物料检测为光电漫反射型传感器，工件库中有物料时为 PLC 提供一个输入信号。
- (7) 光电传感器 2：检测物料到达等待抓取位。
- (8) 磁性传感器：用于气缸的位置检测。当检测到气缸准确到位后将给 PLC 发出一个到位信号。
- (9) 单杆气缸：由单向电磁阀控制。当电磁阀得电时，气缸伸出，同时将物料送至直线移动装置上。
- (10) 控制按钮：用于系统的基本操作、单机控制、联机控制。
- (11) 警示灯：系统上电、运行、停止信号的指示。
- (12) 开关电源：完成整个工作的供电任务。

工作过程：运行时，回转台转动，将工件从料斗（圆盘形）经导料机构引导，经过工件滑槽送入物料台上。物料台检测传感器检测到有工件后，物料台上升，并向 PLC 发出完成信号。

若工件在 30s 内没有送到物料台上，则警示黄灯亮；若物料台在上升过程中卡住（3s 内气缸没有运行到上限位），则警示红灯亮。

### 2) 上料搬运站

功能：主要完成将工件从上料搬运站搬运（或移送）到加工站的待料工位。

上料搬运站如图 6-44 所示。

组成：气动机械手（包括手指或手爪）、双导杆气缸、回转台、单杆气缸、旋转气缸、磁性传感器、开关电源、可编程控制器（PLC）、按钮、I/O 接口和通信接口板、电磁阀组（多种类型电磁阀）等。

主要部件作用如下。

- (1) 气动机械手：通过在 X、Y、Z 轴上的移动，完成工件的抓取动作，由双向电磁阀控制。手爪放松时磁性传感器有信号输出，磁性开关指示灯亮。
- (2) 双导杆气缸（双联气缸）：控制机械手臂的伸出、缩回，由双向电磁阀控制。
- (3) 回转台：采用旋转气缸拖动，由双向电磁阀控制机械手的左、右摆动。
- (4) 单杆气缸：由单向电磁阀控制。当电磁阀得电时，气缸伸出，手指抓取工件，同时将工件送至待料工位。
- (5) 磁性传感器：用于气缸的位置检测。当检测到气缸准确到位后将给 PLC 发出一个到位信号。

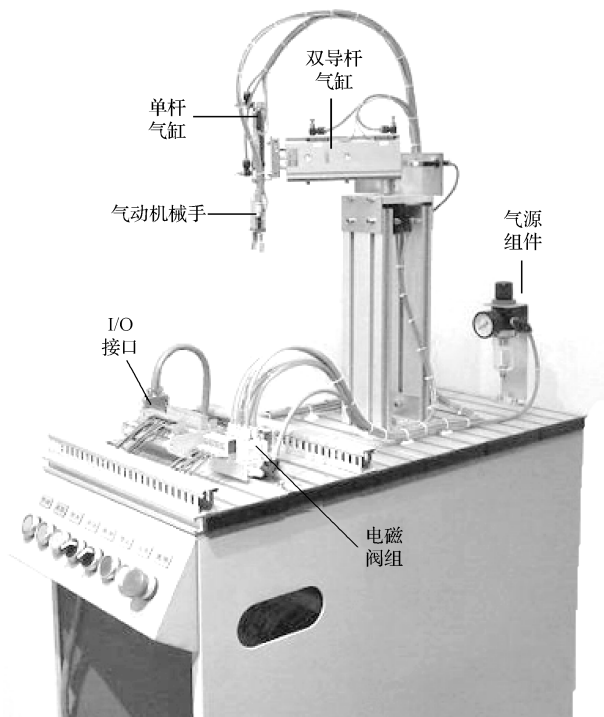


图 6-44 上料搬运站

(6) 开关电源：完成整个工作的供电任务。

(7) I/O 接口和通信接口板：完成 PLC 信号与传感器、电磁信号、按钮之间的转接。

(8) 控制按钮：用于系统的基本操作、单机控制、联机控制。

工作过程：上料完成后，双导杆气缸前伸，前限位磁性传感器检测到位后，延时 0.5s 前臂单杆气缸下降；前臂单杆气缸磁性传感器检测到位后，延时 0.5s 气动手指抓取工件；夹紧工件后延时 0.5s，前臂单杆气缸上升，双导杆气缸缩回；双导杆气缸后限位磁性传感器检测到位后，气动机械手摆台向右摆动；摆台右限位磁性传感器检测到位后，双导杆气缸前伸；前限位磁性传感器检测到位后，延时 0.5s 前臂单杆气缸下降；前臂单杆气缸磁性传感器检测到位后，延时 0.5s 气动手指将工件放入待加工料工位；延时 0.5s 前臂单杆气缸上升，双导杆气缸缩回；后限位磁性传感器检测到位后，气动机械手摆台向左摆动；摆台左限位磁性开关到位后，等待下一个工件到位，重复上面的动作。

### 3) 加工站

功能：主要完成工件的加工（钻孔、铣孔等），并进行工件的加工质量检测。

加工站如图 6-45 所示。

组成：多工位回转工作台（回转盘）、刀具库（多种刀具）、升降式加工系统、加工电动机及组件、检测废品组件（直线气缸）、步进电动机及组件、光电传感器、开关电源、可编程控制器（PLC）、按钮、I/O 接口和通信接口板、减速电动机、电磁阀组（多种类型电磁阀）等。

主要部件作用如下。

(1) 直线气缸：对单杆气缸进行深度测量，由单向电磁阀控制。当电磁阀得电时，气缸伸出，检测钻孔深度。

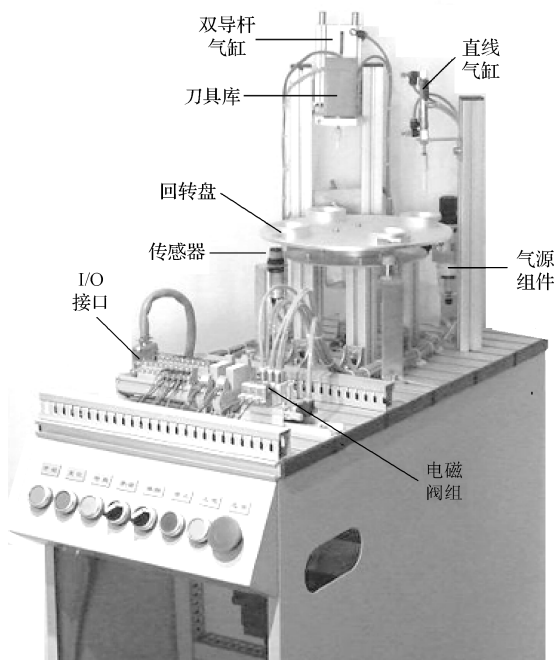


图 6-45 加工站

(2) 双导杆气缸：刀具主轴电动机的上升与下降由（薄型）双导杆气缸控制，气缸的动作由单向电磁阀控制。

(3) 辅助加工装置：由单杆气缸推动顶杆机构，实现对工件的夹紧。

(4) 电感传感器：转盘旋转到位检测，在工位到位后传感器输出信号。

(5) 光电传感器：用于检测工件正常与否。当工件正常时，传感器有信号输出；反之，无输出。

(6) 步进电动机：采用步进电动机旋转，进行刀具库的选择。

(7) 加工电动机：采用直流电动机旋转，模拟钻头轴转动，模拟绞刀扩孔等完成工件的加工。

(8) 搬运装置（多工位回转工作台、回转盘）：装置上设有多个工位，分别为待料工位、加工工位、检测工位、中转工位，工件的工位转换，由电感传感器定位，由减速电动机（直流）控制。

工作过程：启动后，回转盘开始转动，当电感传感器检测到位时，回转盘停止转动，等待工件；待上一工作站的气动手指将工件放入待料工位后，回转盘又开始转动，将工件移送至加工工位；当电感传感器检测到达下一工位时，回转盘停止转动；辅助加工装置动作，辅助加工伸出限位磁性传感器检测工件的夹紧到位后，（薄型）双导杆气缸下降，带动刀具及加工电动机依次对工件进行加工；工件加工结束后，双导杆气缸上移，带动刀具及加工电动机回位；双导杆气缸上限位磁性传感器检测到位后，辅助加工装置松开工件，工件加工工作完成；在辅助加工装置伸出的同时，回转盘又开始转动，将工件移送至检测工位；检测工位直线气缸下降，检测气缸下限位磁性传感器检测到位后，检测钻孔深度和扩孔直径等；检测完成后直线气缸上升，工件检测完成；在检测的同时，光电传感器检测到位工件是否为废料，并将工件正常与否的信息传送给下一个 PLC 控制系统。



#### 4) 搬运(分拣)站

功能: 主要完成根据加工后的成品信号和废料信号, 使工件搬运到成品输送线上或搬运到废料存储器(废料盒); 摆台返回原位等待下一个工件, 完成废料的分拣、搬运任务。

搬运(分拣)站如图 6-46 所示。

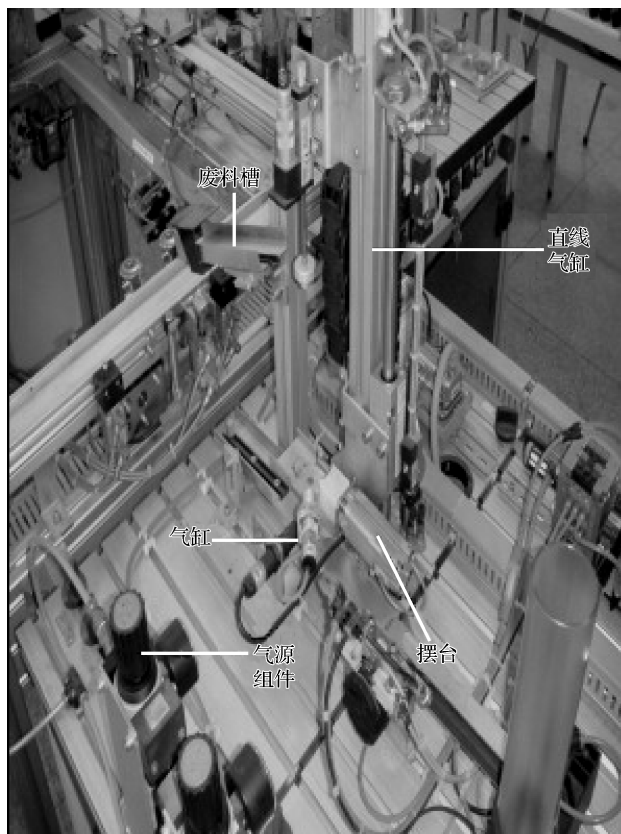


图 6-46 搬运(分拣)站

组成: 摆台、无杆气缸、直线气缸、气动手指、推料气缸、磁性传感器、废料存储器、工业导轨、开关电源、可编程控制器(PLC)、按钮、I/O 接口和通信接口板、电磁阀组(多种类型电磁阀)等。

主要部件作用如下。

- (1) 摆台: 由无杆气缸控制, 实现 3 个位置(向左、中间、向右)的摆动。
- (2) 直线气缸: 控制摆台前臂上下动作, 由单向电磁阀控制。当电磁阀得电时, 前臂底下。
- (3) 电磁阀: 用于控制各个气缸的伸出、缩回动作。
- (4) 推料气缸: 完成废料的分拣任务。
- (5) 废料存储器: 系统检测为废料的工件被分拣出来, 由推料气缸将工件推入废料槽、废料存储器内。
- (6) 气动手指: 完成工件的夹取任务。

工作过程: 搬运(分拣)站接收到加工站的信号后, 摆台向右运动, 气动手指动作,

搬运工件。如果是不合格工件，则将其放到废料台上，由推料气缸将其经废料槽送至废料存储器中；如果是合格工件，由气动手指将其搬运到传送分拣站。然后摆台回到原位。

### 5) 传送分拣站

功能：主要将材料颜色不同的工件分拣出来，同时将符合要求颜色的产品（黑、白色）传送到下一站。

传送分拣站如图 6-47 所示。

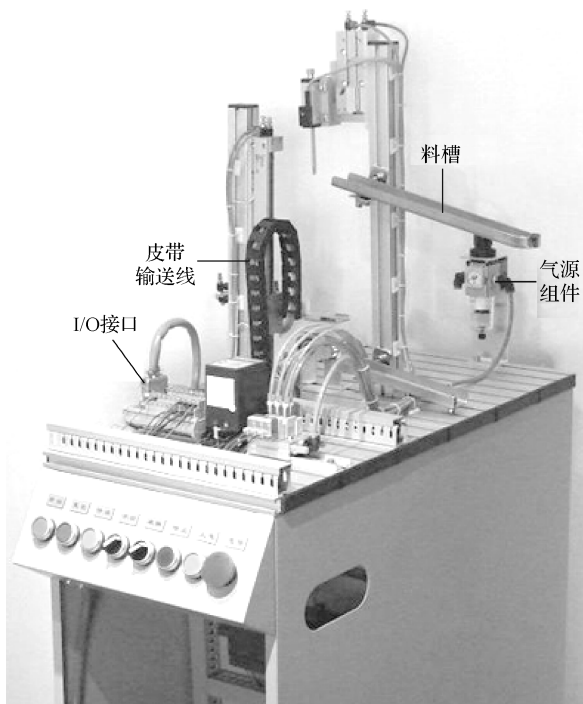


图 6-47 传送分拣站

组成：皮带输送线、提升装置、分拣料槽（工件滑道）、工件高度检测装置、旋转气缸、减速电动机、检测工件及颜色的各类传感器、电磁阀、可编程控制器（PLC）、开关电源、按钮、I/O 接口和通信接口板等。

主要部件作用如下。

- (1) 皮带输送线：主要完成将工件输送到相应的位置的工作。
- (2) 分拣料槽：完成将材料颜色不同的工件分拣出来的工作。
- (3) 旋转气缸：将工件导入料槽，由单向电磁阀控制。
- (4) 减速电动机：驱动输送带转动。
- (5) 光电传感器 1：当有颜色符合要求的工件放入时，给 PLC 发出一个输入信号。
- (6) 光电传感器 2：检测上一工作站的工件是否到位。
- (7) 颜色传感器：工件经过时检测其颜色。

工作过程：到料检测传感器（光电传感器 2）检测到搬运（分拣）站搬运工件到位后，皮带输送线动作输送工件，同时在工件输送过程中，颜色传感器对工件颜色进行检测，检测为红色工件时，旋转气缸动作将其推入料槽中；检测工件为黑色或白色时，皮带输送工





件到另一料槽,同时光电传感器(光电传感器1)检测到位信号,皮带输送线停止动作,等待下一站搬运。

#### 6) 搬运安装站

功能:主要将上一站的工件拿起放入安装平台,等待安装站将小工件安装到位后,再将安装好的工件拿起放到下一站。

搬运安装站如图6-48所示。

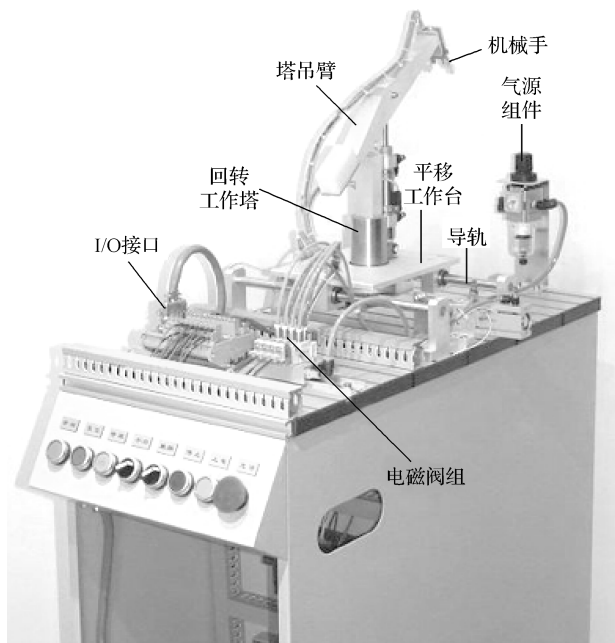


图 6-48 搬运安装站

组成:平移工作台、回转工作台、塔吊臂、机械手(气动)、齿轮齿条传动、工业导轨、开关电源、可编程控制器(PLC)、按钮、I/O接口和通信接口板、电磁阀组(多种类型电磁阀)等。

主要部件作用如下。

- (1) 机械手(气动):与塔吊臂结合,用于夹取工件。
- (2) 齿轮齿条传动:完成平移工作台的左右移动。
- (3) 工业导轨:辅助平移工作台左右移动。
- (4) 电磁阀组:用于控制各个气缸的伸出、缩回动作。
- (5) 磁性传感器:用于气缸的位置检测。当检测到气缸准确到位后将给 PLC 发出一个到位信号。
- (6) 单杆气缸:由单向电磁阀控制。当电磁阀得电时,气缸缩回,同时塔吊臂下降与机械手指组合完成工件的夹取。

(7) 控制按钮:用于系统的基本操作、单机控制、联机控制。

工作过程:启动后,塔吊臂抬起,上限位磁性传感器检测到位,平移工作台向左移,左自由气缸左限位磁性传感器和右自由气缸右限位磁性传感器检测到位,塔吊臂在搬运(分拣)站平台工件上方;塔吊臂下降,导杆气缸下限位磁性传感器检测到位,延时 0.5s 后机

机械手指动作抓取工件；塔吊臂抬起，导杆气缸上限位磁性传感器检测到位后，平移工作台向右移，左自由气缸右限位磁性传感器和右自由气缸左限位磁性传感器到位后，塔吊臂下降；导杆气缸下限位磁性传感器检测到位后，气动手指将工件放入安装工位；塔吊臂抬起，左移等待搬运。

待安装完成后，平移工作台又运行到安装工位，塔吊臂下降，导杆气缸下限位磁性传感器检测到位，延时 0.5s 后机械手指动作抓取工件；塔吊臂抬起，导杆气缸上限位磁性传感器检测到位后，平移工作台向右移；左自由气缸右限位磁性传感器和右自由左限位磁性传感器检测到位后，塔吊臂下降；导杆气缸下限位磁性传感器检测到位后，机械手指将工件放入分类存储站的货台上；塔吊臂抬起，左移等待下一次搬运。

### 7) 安装站

功能：主要选择要安装小工件的料仓，将小工件从料仓中推出，并将小工件安装到大工件中。

安装站如图 6-49 所示。

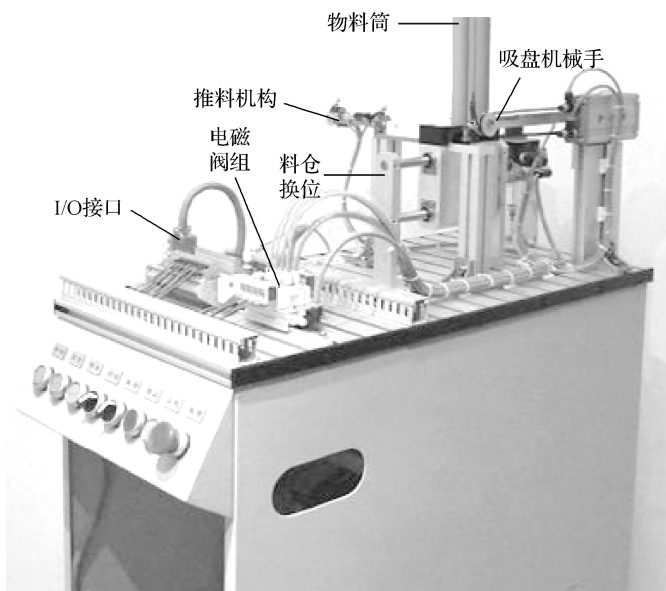


图 6-49 安装站

组成：吸盘机械手（气动）、摇臂部件、旋转气缸、料仓换位部件、工件推出部件、真空发生器、开关电源、可编程控制器（PLC）、按钮、I/O 接口和通信接口板、电磁阀组（多种类型电磁阀）等。

主要部件作用如下。

- (1) 吸盘机械手（气动）：利用真空原理吸取小物件。
- (2) 摇臂部件：带动吸盘机械手前后摆动。
- (3) 旋转气缸：摇臂部件的执行机构。
- (4) 料仓换位部件：用于黑、白小工件的选择。
- (5) 工件推出部件：将黑、白小工件推出。



(6) 磁性传感器：用于气缸的位置检测。当检测到气缸准确到位后将给 PLC 发出一个到位信号。

(7) 单杆气缸 1：由单向电磁阀控制。当电磁阀得电时，气缸伸出，进行料仓换位。

(8) 单杆气缸 2：由单向电磁阀控制。当电磁阀得电时，气缸伸出，将黑、白小工件推出。

工作过程：搬运安装站（上一站）的气动手指将大工件放入安装工位后，吸盘机械手先从小工件物料台转到安装工位；待小工件推料气缸将小工件从物料筒推出到物料台时再转回；转动到位后吸盘对准小工件，真空发生器动作，将小工件吸住；吸盘机械手再次从小工件物料台转到安装工位，将小工件放到大工件中以后，真空发生器释放，吸盘机械手退回，完成小工件安装；等待搬运安装站（上一站）搬运。

#### 8) 分类存储站

功能：主要按工件类型分类，将安装好的工件推入料仓。

分类存储站如图 6-50 所示。

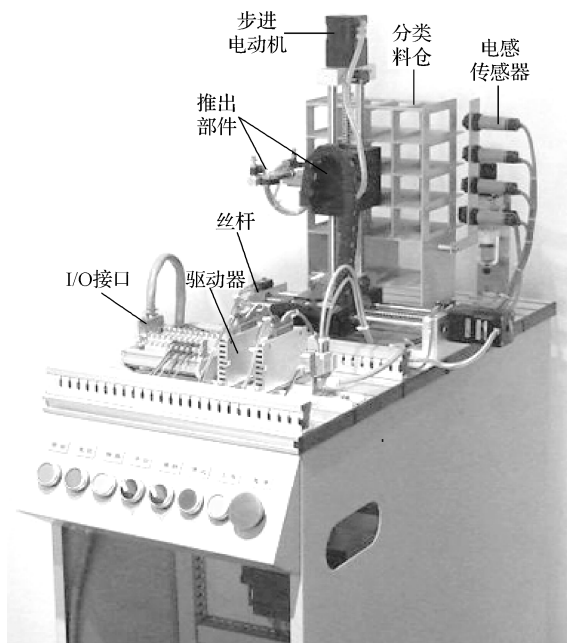


图 6-50 分类存储站

组成：滚珠丝杠、滑杆推出部件、分类料仓（立体仓库）、步进电动机、步进驱动器、电感传感器、开关电源、可编程控制器（PLC）、控制按钮板、I/O 接口和通信接口板、电磁阀组（多种类型电磁阀）等。

主要部件作用如下。

(1) 滑杆推出部件：用于将搬运安装站的机械手搬运来的工件（完成安装）推入相应的仓位里。

(2) 分类料仓（立体仓库）：存储安装后的工件。

(3) 步进电动机：分别控制 X、Y 轴滚珠丝杆完成仓储位置的选择。

(4) 步进驱动器：步进电动机的驱动机构。

(5) 电感传感器：用于 X 轴左限位。

(6) 磁性传感器：用于气缸的位置检测。当检测到气缸准确到位后将给 PLC 发出一个到位信号。

(7) 单杆气缸：由单向电磁阀控制。当电磁阀得电时，气缸伸出，同时将物料推出送至相应的仓储位。

(8) 控制按钮板：用于系统的基本操作、单机控制、联机控制。

工作过程：分类存储站的货台在等待位置接收到搬运安装站的气动手指送入的工件后，根据工件的颜色进行分类，并定义仓库位从左至右分为：外白内黑、外白内白、外黑内黑、外黑内白 4 种。根据工件的颜色，货台将工件搬运到相应仓库位后将工件推入仓位，再返回到等待位置。每种工件从第 4 层开始入库，全部放满后往上层堆放。

## 训练项目 11：MPS 系统实训——上料单元的机械拆装

### 1. 训练目的

通过训练，详细了解 MPS 系统各站的作用及其与实际工作使用中的区别，掌握机械总成、各零部件及其相互间的连接关系、拆装方法、步骤及注意事项，加深对各类机械部件的了解，熟悉其机械的结构，进一步锻炼和培养动手能力，提高学习拆装方法和正确使用常用机、工、量具和专门工具等的的能力。

### 2. 训练内容

上料单元（上料检测站）的机械拆装。

### 3. 设备、材料

设备、材料清单见表 6-4。

表 6-4 设备、材料清单

名 称	规格（参考）	数 量	备 注
MPS 系统实训台——上料单元		1 台	工作台面：警示灯机构、提升机构、上料机构、执行机构、PLC 控制机构、供电动机构等
拆装工具		1 套	
辅件	铜棒、干净布、煤油等	若干	

### 4. 训练步骤

- (1) 识别各种拆装工具，了解和掌握拆装工具的正确使用方法。
- (2) 了解所拆卸机器（设备）的主要结构，分析和确定主要拆卸内容（步骤）。
- (3) 拆卸工作台面上的各机械零部件、控制部件，如气缸、电动机、转盘、过滤器、PLC、开关电源、按钮等。
- (4) 对端盖、压盖、外壳等进行拆卸。
- (5) 对主轴、轴承等进行拆卸。
- (6) 对接管、支架、辅助件等进行拆卸。



- (7) 对内部辅助件及其他零部件进行拆卸。
- (8) 对各零部件进行分类、清洗、记录等。
- (9) 理清组装顺序,重新组装。

### 5. 基本注意事项

- (1) 拆卸时,先外部零件后内部零件,先部件后零件。组装时顺序相反,即先拆的后装、后拆的先装。
- (2) 拆卸的零件按顺序摆放,进行必要的分类、记录、擦洗和清理等。
- (3) 在拆卸零件的过程中,整体的零件不允许破坏性拆开,培养文明操作的习惯。
- (4) 装配时按顺序进行,要一次安装到位。
- (5) 要检查组装是否合理、正确和适度,即装配到位、密封良好、转动自如。

### 6. 思考

- (1) MPS 系统与实际的自动生产线有何差异?
- (2) 列出 MPS 系统——上料单元的机械拆卸步骤。

## 训练项目 12 : MPS 系统实训——搬运(机械手)单元的编程

### 1. 训练目的

熟悉搬运(机械手)单元各部件的工作情况。通过训练,根据不同的控制要求编制程序,将所学过的理论知识运用于实践中,利用所学的指令完成搬运(机械手)单元的程序编制,培养面对问题、分析问题、解决问题的能力。

### 2. 训练内容

搬运(机械手)单元的编程(手动程序)。

要求:上电后,按“复位”按钮,气缸能进行复位;气缸复位完成后,按“开始”按钮,程序开始运行;按“调试”按钮,机械手臂伸出;机械手臂伸出到位后,再下降到位;之后气动手指或手爪将工件夹紧并上升,机械手臂再退回后右转到位。再按“调试”按钮,机械手臂前伸到下一单元的工位上方,然后下降,气动手指或手爪打开,将工件放入工位中。最后各气缸复位,等待下一个工件的到来。

### 3. 设备、材料

设备、材料清单见表 6-5。

表 6-5 设备、材料清单

名 称	规格(参考)	数 量	备 注
MPS 系统实训台——搬运单元		1 台	工作台面:机械手、PLC 主机、编程器、控制台、气源及其附件等
辅件	连接线	若干	

### 4. 训练步骤

- (1) 规划 PLC 的 I/O 分配及接线端子分配。

(2) 根据上述控制要求编制出相应的程序。

(3) 进行系统安装接线。

(4) 将编制好的程序送入 PLC。

(5) 进行调试与运行。

### 5. 基本注意事项

(1) 检查电气连接和机械部件状态是否正确（如运动时是否干涉，连接是否松动等）。

(2) 检查使用电源（包括交、直流）是否正确。

(3) 检查 PLC 的 I/O 接线是否正确。

(4) 检查正确和可靠气管连接。

(5) 检查磁性开关、传感器等的安装位置是否到位、合理，磁性开关、传感器等的灵敏度是否合适，工作是否正常。

(6) 调整气动部分，检查气路、过滤减压阀是否正确，气压是否合理、恰当，气缸的动作速度是否合适。

(7) 放入工件，运行程序，观察搬运（机械手）单元的动作是否满足任务要求。

### 6. 思考

绘制出搬运（机械手）单元（手动控制）动作的 PLC 流程图。

## 训练项目 13：MPS 系统实训——加工单元气动系统调试

### 1. 训练目的

通过所掌握的气动技术知识，观察、了解加工单元的气动控制回路的组成，掌握气动元件（如气缸和各种控制阀）的工作原理及性能，能够正确搭接和调试气动系统，通过自主操作，培养知识应用能力、观察能力、主动思考能力与动手能力。

### 2. 训练内容

MPS 系统实训——加工单元气动系统调试。

### 3. 设备、材料

设备、材料清单见表 6-6。

表 6-6 设备、材料清单

名 称	规格（参考）	数 量	备 注
MPS 系统实训台——加工单元		1 台	工作台面：加工料盘、气缸、各类电磁阀与传感器、气源过滤器、控制台等
辅件	连接气管	若干	

### 4. 训练步骤

(1) 观察加工单元的气动控制回路的组成情况，如各气缸的位置、气缸的进排口情况、有无节流阀等。

(2) 了解各控制阀的类型、控制对象、特性、工作原理等。



(3) 用手控信号控制各方向控制阀, 观察相应的气动执行机构(气缸)的动作和特征, 找出阀及阀的控制信号与执行机构动作之间的关系。

(4) 分析判断与各个执行机构相对应的方向控制阀的类型。

(5) 在观察各个气缸的动作特征时, 应观察3种状态: 操作前执行机构的常态; 操作过程中突然去掉手控信号时执行机构的状态; 在手控信号一直维持到使执行机构动作完成后去掉该信号的情况下, 执行机构的状态。

(6) 正确搭调和调试加工单元的气动系统。

加工单元的气动系统如图 6-51 所示。

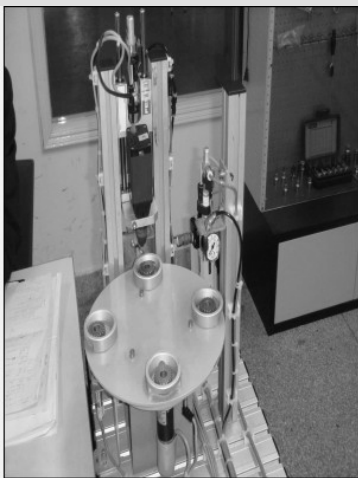


图 6-51 加工单元的气动系统

### 5. 基本注意事项

(1) 使用时先检查加工单元的气管是否接入气泵(气源由调压过滤器的左侧气口连接  $\phi 6$  气管, 另一端接静音气泵)。

(2) 长时间使用时, 应注意及时将过滤器内的水分排出。

(3) 在操作过程中, 始终注意气压。

(4) 加工单元工作面要保持整洁, 不可随意放置杂物, 特别是导电的工具和多余的导线等, 以免发生短路等故障。

(5) 操作完毕, 应及时关闭气源的电源开关, 并及时清理工作台面。

### 6. 思考

(1) 画出加工单元的气动系统图, 叙述其工作原理。

(2) 叙述加工单元的气动系统搭调和调试过程。



## 本章小结

- 工业机器人(手)是涉及多种技术的典型机电一体化产品。其涉及的技术有控制技术、计算机技术、机械技术、电子技术等, 而涉及的学科又包含运动学、动力学、

光学及仿生学等。工业机器人（手）使各种技术、学科相互渗透、相互结合。

- 操作机“是一种机器，其机构通常由一系列相互铰接或相对滑动的构件组成。它通常有几个自由度，用以抓取或移动物体（工具或工件）。”所以，对工业机器人（手）可能理解为：拟人手臂、手腕和手功能的机械电子装置；它可把任一物件或工具按空间位姿（位置和姿态）的时变要求进行移动，从而完成某一工业生产的作业要求。
- 在实际应用中，工业机器人（手）是一种通过重复编程和自动控制，能够完成制造过程中某些操作任务的多功能、多自由度的机电一体化自动机械装备和系统，它结合制造主机或生产线，可以组成单机或多机自动化系统，在无人参与下，实现搬运、焊接、装配和喷涂等多种生产作业。
- 工业机器人（手）目前还没有统一的分类标准，因此根据不同的要求、方式有不同的类型。
- 工业机器人的基本工作原理是示教（导引）再现，即由用户引导工业机器人，一步步按实际任务操作一遍，工业机器人在引导过程中自动记忆示教的每个动作的位置、姿态、运动参数、工艺参数等，并自动生成一个连续执行全部操作的程序。完成示教后，只需给工业机器人一个启动命令，它将精确地按示教动作，一步步完成全部操作。
- 工业机器人（手）系统是由机械、传感、控制 3 大部分及其驱动系统、机械结构系统、感受系统、机器人-环境交互系统、人机交互系统、控制系统 6 个子系统组成。
- 驱动系统有机械式、液压式、气动式、电动式等不同的驱动形式，或者把它们结合起来应用的综合系统；可以直接驱动或者通过同步带、链条、轮系、谐波齿轮等机械传动机构进行间接驱动工业机器人各个关节（即自由度）运行。
- 机械结构系统（操作机）是一种具有和人的手、脚相似运动功能的机械装置，也是完成各种运动的机械部件。
- 感受系统实时检测工业机器人的运动及工作情况，并反馈给控制系统进行调整。感受系统由内部传感器模块和外部传感器模块组成。
- 控制系统实现对操作机的控制，一般由控制计算机和伺服控制器组成。控制系统主要有集中式、分散（级）式等方式。
- 工业机器人的主要技术参数应包括自由度、精度（定位精度和重复定位精度）、工作范围、最大工作速度和承载能力等。
- 自动生产线是现代工业的生命线，在整个国家的工业及其他领域中占有重要的地位和作用。
- 自动生产线是指按照产品加工工艺过程，用工件存储及传送装置把自动化专机及辅助机械设备连接起来形成的具有独立控制装置的自动完成产品全部或部分制造（制作）过程的生产系统。
- 自动生产线是建立在机械技术、计算机技术、传感技术、驱动技术、接口技术等基础上的一门综合技术。
- 自动生产线不仅可以把人从繁重的体力劳动、部分脑力劳动及恶劣、危险的工作环境中解放出来，而且能扩展人的器官功能，极大地提高劳动生产率，增强人类认识世界和改造世界的能力。





- 自动生产线由主要工艺设备(自动化专机)、辅助工艺装置、检测控制装置(包括检测、信号处理和控制系统)、物料存储和传送装置(包括传送、存储和上下料装置)等部分构成。
- 从功能来看,不论何种类型的自动生产线都应具备最基本的4大功能,即运转功能、控制功能、检测功能和驱动功能。
- 自动生产线中设备间的连接方式有刚性连接和柔性连接两种。目前,较多地采用柔性自动生产线。
- 柔性自动生产线的基本组成包括自动加工系统、物流系统、信息系统和软件系统等。
- MPS系统是模块化生产加工系统,也是一种柔性自动生产线。它结合了现代工业的特点,模拟一个与实际生产情况十分接近的自动化生产及控制过程。
- MPS系统是为培养、提高操作者的动手能力和实践技能而设计、生产的一套实用性实验设备。
- MPS系统一般由供料、检测、加工、搬运、成品分装5个基本模块工作站构成。
- 各模块工作站采用气动驱动方式、传感器检测、可编程控制器(PLC)控制方式;同时采用既可实行独立控制(分散控制)又可实行集中控制的方式。因此,具有较好的柔性。



## 习 题 6

### 一、单选题

1. 工业机器人就是拥有能够自动控制的( ),可以按照程序执行各项作业的机器。  
A. 手控功能      B. 移动功能      C. 会话功能      D. A 和 B
2. ( )是指拥有前后、左右、上下等方向的运动功能。  
A. 手控功能      B. 移动功能      C. 会话功能      D. A 和 B
3. ( )是指拥有与人类的上肢动作功能相似的各种动作功能。  
A. 手控功能      B. 移动功能      C. 会话功能      D. A 和 B
4. ( )工业机器人不仅具备感觉功能,而且能根据人的命令,按所处环境自行决策,规划出行动。  
A. 第一代      B. 第二代      C. 第三代      D. 第四代
5. 直角坐标型机器人具有( )个移动关节。  
A. 1      B. 2      C. 3      D. 4
6. 具有3个或以上转动关节的机器人称为( )机器人。  
A. 平面关节型      B. 关节坐标型      C. 球坐标型      D. 圆柱坐标型
7. ( )可以反映工业机器人有多少个方向能够独立自由移动的工作能力和工作范围。  
A. 关节      B. 移动方向      C. 自由度      D. 弯曲度
8. 工业机器人系统的基本组成部分包括( )部分、传感部分、控制部分等。  
A. 机械      B. 电气      C. 驱动      D. 液压
9. ( )系统是提供工业机器人各部位和各关节动作的原动力。

- A. 机械                  B. 电气                  C. 驱动                  D. 液压
10. ( ) 系统是工业机器人的执行机构。  
A. 机械结构      B. 电气                  C. 驱动                  D. 液压
11. 手部又称为 ( ) 或夹持器, 是工业机器人对目标直接进行操作部分。  
A. 首端执行器    B. 末端执行器    C. 驱动部分                  D. 执行器
12. 工业机器人腕部的主要功能是调整手部的 ( )。  
A. 姿态                  B. 方位                  C. 活动                  D. A 和 B
13. 工业机器人的 ( ) 运动范围决定其作业的空间。  
A. 手部                  B. 腕部                  C. 臂部                  D. 基座
14. ( ) 系统是使操作人员参与工业机器人控制, 并与工业机器人进行联系的装置。  
A. 感受                  B. 机械结构          C. 人机交互                  D. 机器人-环境交互
15. 控制系统实现对工业机器人的控制, 一般由 ( ) 构成。  
A. 控制计算机    B. 伺服控制器    C. 可编程控制器                  D. A 和 B
16. ( ) 是工业机器人具有的独立坐标轴运动的数目。  
A. 自由度                  B. 精度                  C. 驱动能力                  D. 工作范围
17. ( ) 是表示工业机器人动作灵活程度的参数。  
A. 自由度                  B. 通用性                  C. 适应性                  D. A 和 B
18. 冗余自由度是指 ( ) 自由度。  
A. 小于 4 个      B. 大于 4 个小于 5 个      C. 等于 5 个      D. 大于 6 个
19. 工业机器人的定位精度是指工业机器人 ( ) 实际位置与目标位置间的偏差。  
A. 首端执行器    B. 末端执行器                  C. 驱动部分                  D. 执行器
20. 工业机器人的定位精度由 ( ) 与系统分辨率等部分构成。  
A. 机械误差      B. 控制算法          C. 实际位置                  D. A 和 B
21. 工业机器人的工作范围是指工业机器人 ( ) 所能到达的所有点的集合。  
A. 手臂末端      B. 手腕中心          C. 基座                  D. A 或 B
22. 工业机器人的工作速度越高, 其工作效率就 ( )。  
A. 越低                  B. 越高                  C. 不稳定                  D. A 或 B
23. ( ) 是指工业机器人在工作范围内的任何位置或位姿上所能承受的最大质量。  
A. 承载能力      B. 负载能力          C. 负载质量                  D. A 和 B
24. 整个自动生产线的主体是 ( )。  
A. 物料存储和传送    B. 检测控制          C. 机械部分                  D. A 和 B
25. 自动生产线应具备运转、控制、检测和 ( ) 等最基本的功能。  
A. 物料存储                  B. 物料传送          C. 驱动                  D. A 和 B
26. ( ) 功能在自动生产线是由微型机、单片机、可编程控制器或其他一些电子装置来承担完成的。  
A. 控制                  B. 运转                  C. 驱动                  D. A 和 B
27. ( ) 结构的输送系统最简单。  
A. 直线形式                  B. 曲线形式                  C. 封闭形式                  D. 树枝形式
28. 生产线为最大限度地节省使用场地而应该采用 ( ) 结构的输送系统。



- A. 直线形式      B. 曲线形式      C. 封闭形式      D. 树枝形式
29. 自动生产线中设备的连接方式为( )。
- A. 刚性连接      B. 柔性连接      C. 阻性连接      D. A 和 B
30. MPS 系统是一种( )生产线。
- A. 刚性      B. 柔性      C. 阻性      D. A 和 B

## 二、判断题

1. 工业机器人所执行的任务是取代或协助人类工作的工作。 ( )
2. 工业机器人可接受人类指挥,也可以不接受人类指挥。 ( )
3. 移动功能是指拥有与人类的上肢动作功能相似的各种动作功能。 ( )
4. 手控功能是指拥有前后、左右、上下等方向的运动功能。 ( )
5. 直角坐标型机器人应具有一个转动关节和两个移动关节。 ( )
6. 关节可反映工业机器人有多少个方向能独立自由移动的工作能力及工作范围。 ( )
7. 自由度可反映工业机器人有多少个方向能独立自由移动的工作能力及工作范围。 ( )
8. 电气系统是提供工业机器人各部位和各关节动作的原动力。 ( )
9. 工业机器人的感受系统由内部传感器模块和外部传感器模块组成。 ( )
10. 人机交互系统是使操作人员参与工业机器人的控制,并与工业机器人进行联系的装置。 ( )
11. 自由度是指工业机器人所具有的独立坐标轴运动的数目,包括手爪的开合自由度。 ( )
12. 自由度越多,工业机器人的动作就越灵活,结构也越简单。 ( )
13. 自由度越多,工业机器人的控制难度就越小,但结构也越复杂。 ( )
14. 工业机器人的定位精度是指首端执行器的实际位置与目标位置间的偏差。 ( )
15. 工业机器人的工作范围是指工业机器人手臂末端或手腕中心所能到达的所有点的集合,并应包括安装末端操作器时的工作区域。 ( )
16. 工业机器人的工作速度是指工业机器人各个方向的移动速度或转动速度。 ( )
17. 工业机器人的承载能力是指工业机器人在工作范围内的任何位置或位姿上所能承受的最大质量。 ( )
18. 工业机器人的承载能力即是负载能力。 ( )
19. 工业机器人的承载能力不仅取决于负载的重量,而且还与工业机器人运行的速度和加速度的大小和方向有关。 ( )
20. 自动生产线最主要的特点是具有统一的自动化控制系统和严格的生产节奏。 ( )
21. 整个自动生产线的主体是检测控制部分。 ( )
22. 在自动生产线中检测功能主要由位置传感器、直线位移传感器、角位移传感器、电动机等来实现。 ( )
23. 生产线为最大限度地节省使用场地而应该采用环形结构的输送系统。 ( )
24. 自动生产线中设备的连接方式有刚性连接和阻性连接两种。 ( )

25. 刚性连接是指在自动生产线中, 工序之间有储料装置, 工件的加工和传送过程有严格的节奏性。 ( )

26. 柔性连接在自动生产线中, 各工序(或工段)之间没有储料装置, 各工序节拍不必严格一致。 ( )

27. MPS 系统是模块化生产加工系统, 也是一种柔性自动生产线。 ( )

## 三、多选题

1. 工业机器人(手)所涉及的学科包括有( )及控制工程学等。

- A. 电气工程学      B. 微电子工程学      C. 计算机工程学
- D. 仿生学      E. 信息传感工程学      F. 声学工程学
- G. 人工智能工程学      H. 机械工程学

2. 工业机器人最显著的特点是( )等。

- A. 小型化      B. 微型化      C. 拟人化      D. 可编程
- E. 信息化      F. 网络化      G. 通用性      H. 机电一体化

3. 工业机器人系统通常由( )子系统组成。

- A. 机械结构      B. 感受      C. 驱动      D. 编程
- E. 机器人-环境交互      F. 人机交互      G. 通用      H. 控制

4. 工业机器人的主要技术参数应包括( )等。

- A. 自由度      B. 精度      C. 驱动能力      D. 工作范围
- E. 活动范围      F. 承载能力      G. 使用电源      H. 最大工作速度

5. 工业机器人的承载能力与( )等因素有关。

- A. 自由度      B. 精度      C. 负载的质量      D. 工作范围
- E. 运行的速度      F. 加速度的大小      G. 加速度的方向      H. 使用电源

6. 自动生产线是建立在( )等基础上的一门综合技术。

- A. 机械技术      B. 操作技术      C. 计算机技术      D. 传感技术
- E. 变频技术      F. 驱动技术      G. 接口技术      H. 输入、输出技术

7. 自动生产线由( )等部分构成。

- A. 主要工艺设备      B. 辅助工艺装置      C. 检测控制装置
- D. 物料存储和传送装置      E. 电动机      F. 交流电源
- G. 传感器      H. 可编程序控制器

8. 在自动生产线中, 驱动功能主要由( )等执行机构来完成。

- A. 主要工艺设备      B. 机械手      C. 检测装置      D. 气压缸
- E. 电磁阀      F. 液压缸      G. 传感器      H. 电动机

9. 机械制造业的柔性生产线的基本组成应包括( )部分。

- A. 主要工艺设备      B. 自动加工系统      C. 检测装置      D. 气压缸
- E. 物流系统      F. 信息系统      G. 软件系统      H. 电动机

10. MPS 系统由( )等基本模块工作站组成。

- A. 供料      B. 机械手      C. 检测      D. 加工
- E. 搬运      F. 成品分装      G. 传感器      H. 电动机



#### 四、分析题

1. 示教再现型工业机器人在示教过程的同时, ( ) 的信息自动存入 ( ) 中。在机器人自动工作时, 控制系统从 ( ) 中检出相应信息, 将 ( ) 传给驱动机构, 使 ( ) 再现示教的各种动作。

A. 程序存储器    B. 指令信号    C. 工作程序    D. 执行机构

2. ( ) 实时检测机器人的运动及工作情况, 根据需要反馈给 ( ), 与 ( ) 进行比较后, 对 ( ) 进行调整, 以保证机器人的动作符合预定的要求。

A. 控制系统    B. 设定信息    C. 执行机构    D. 感受系统

3. 自动生产线通过自动化输送及其他一些辅助装置, 按照 ( ) 或 ( ), 将各种机械加工装置、自动化专机连接成一体, 并通过 ( )、气压系统、电气控制系统和 ( ) 等各部分的动作联系起来, 使整个系统按照规定的程序 ( ), 从而连续、稳定地生产出符合技术要求的特定产品。

A. 特定工序顺序    B. 液压系统    C. 传感器  
D. 生产流程    F. 自动地工作

4. 控制功能在自动生产线中是由微型机、单片机、可编程控制器或其他一些电子装置来承担完成的。在工作过程中, 设在各部位的 ( ) 把信号检测出来, ( ) 对信号进行存储、运输、运算、变换等, 然后用相应的 ( ) 向 ( ) 发出命令, 完成必要的动作。

A. 控制装置    B. 接口电路    C. 执行机构    D. 传感器

5. 机械制造业的柔性自动生产线把多台可以调整的 ( ) 连接起来, 配以 ( ) 组成生产线。它依靠 ( ) 管理, 并将 ( ) 结合, 从而能够减少生产成本, 做到物尽其用。

A. 专用机床    B. 自动运送装置    C. 多种生产模式    D. 计算机

# 参 考 文 献

- [1] 张涛. 机电控制系统（第1版）. 北京：高等教育出版社，1998.
- [2] 孔凡才. 自动控制系统（第1版）. 北京：机械工业出版社，2007.
- [3] 何巨兰. 电机与电气控制（第1版）. 北京：机械工业出版社，2004.
- [4] 陈瑞阳. 机电一体化控制技术（第1版）. 北京：高等教育出版社，2004.
- [5] 邓健平. 数控机床控制技术基础（第1版）. 北京：人民邮电出版社，2006.
- [6] 李乃夫，等. 电工与电子技术及技能训练（第2版）. 北京：电子工业出版社，2013.
- [7] 刘增辉. 模块化生产加工系统应用技术（第1版）. 北京：电子工业出版社，2005.
- [8] 蔡夕忠. 传感器应用技能训练（第1版）. 北京：高等教育出版社，2006.
- [9] 刘伟. 传感器原理及实用技术（第1版）. 北京：电子工业出版社，2006.